

# **Dinâmica da difusão tecnológica em economias desenvolvidas e em desenvolvimento: uma análise para as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)**

*Adriano Cristian Gewehr*

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Economia  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) – tenoacg@yahoo.com.br

*Janaina Ruffoni*

Professora do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE)  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) - jruffoni@unisinis.br

*Alexsandro Marian Carvalho*

Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE)  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) - alexsandromc@unisinis.br

## **RESUMO**

As tecnologias da informação e comunicação (TIC) modificaram as estruturas de negócios das indústrias, e são fundamentais para a difusão de outras inovações. Considerando tal cenário, releva compreender a dinâmica da difusão das TIC. Entende-se que se trata de uma abordagem adicional na literatura, visto que, a revisão bibliográfica realizada constatou que os esforços concentram-se em identificar os determinantes da difusão. Sendo assim, o problema de pesquisa posto é: como se caracteriza a dinâmica do processo de difusão da tecnologia da internet e da telefonia móvel nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento? Para tanto, foram utilizados os dados empíricos de consumo destas duas tecnologias para os grupos de países do G7 e do BRICS respectivamente, para uma série de tempo de 1990 a 2014. Aplicou-se o modelo matemático de Bass (1969), gerando curvas de consumo ajustadas pelo método dos mínimos quadrados. Os principais resultados foram: i) a dinâmica de difusão destas duas tecnologias confirma o comportamento proposto por Rogers (1962), de uma curva em formato “S” ao longo do tempo representando as adoções pela população; ii) o modelo ajustou as curvas de difusão destas tecnologias com baixos índices de erros, que ao longo de 25 anos ficam entre 0,2% e 5,1%; iii) países desenvolvidos tendem a ter mais adotantes inovadores na população; iv) adotantes imitadores exercem maior influência na adoção de inovações; v) não existe uma relação direta entre a velocidade e o nível de desenvolvimento das economias estudadas; vi) os países desenvolvidos analisados atingiram o ponto de inflexão no processo de difusão antes que as economias em desenvolvimento; vii) algumas nações atingirão apenas pouco mais da metade de sua população com acesso à internet. Nas economias em desenvolvimento, além da adoção tardia, o processo para capturar novos adotantes por ano é lento, sendo que, enquanto os países desenvolvidos estão atingindo a saturação, na maioria das economias em desenvolvimento analisadas estas tecnologias ainda apresentam potencial para difusão. Por fim, destaca-se que, se estas duas tecnologias tendem a contribuir para a difusão de outras inovações, presume-se que o problema do progresso tecnológico retardado tende a se agravar para as economias em desenvolvimento.

**Palavras-chave:** Difusão da Inovação. Tecnologias de Informação e Comunicação. Países desenvolvidos e em desenvolvimento. Modelo matemático.

## **ABSTRACT**

Information and communication technologies (ICT) have changed the business structures of industries, and are essential to the diffusion of other innovations. Considering this scenario, it is important to understand the dynamics of the diffusion of ICT. We think this is an additional approach in the literature, since, the bibliographic review realized, show us that the efforts are concentrated in identifying the determinants of the diffusion. So, the research problem was: how is the dynamics of the diffusion process of Internet technology and mobile telephony in developed and developing countries? We used the empirical consumption data of these two technologies for the G7 and BRICS, for a time series from 1990 to 2014. The mathematical model of Bass (1969) was

applied, generating consumption curves adjusted by least squares method. The main results were: i) the diffusion dynamics of these two technologies confirms the behavior proposed by Rogers (1962), of an "S" shaped curve over time drawing the adoptions by the population; ii) the model adjusted the diffusion curves of these technologies with low error rates, which for 25 years are between 0.2% and 5.1%; (iii) developed countries tend to have more innovative adopters in the population; iv) imitating adopters have a greater influence on the adoption of innovations; v) there is no direct relationship between the speed and development level of the economies which were studied; vi) the developed countries analyzed have reached the inflection point in the diffusion process before developing countries; vii) in some countries only half of the population approximately will get access to internet. In developing countries, in addition to late adoption, the process to capture new adopters per year is slow, and while developed countries are reaching saturation, in most of the analyzed developing countries these technologies still have potential for diffusion. Finally, it is noted that if these two technologies contribute to the diffusion of other innovations, it is assumed that the problem of delayed technological progress can to worsen for developing countries.

**Keywords:** Diffusion of Innovation. Information and Communication Technologies. Developed and developing countries. Mathematical model.

**Área ANPEC:** Área 9 - Economia Industrial e da Tecnologia

**JEL:** O31; O33; C6.

### **Introdução**

As tecnologias de informação e comunicação (TIC) modificaram o padrão de concorrência dos negócios. As formas de se transacionar produtos e informações bem como os custos das firmas foram altamente afetadas pela introdução destas duas inovações. Reduziram-se os custos de comunicação, coordenação das atividades e processamento de informações, fazendo com que estas inovações se tornassem vitais em diferentes setores da economia (GRUBER; KOUTROUMPIS, 2011; GALLIANO; ROUX, 2005; BRESNAHAN; TRAJTENBERG, 1995).

Há uma relativa quantidade de estudos que explora a identificação dos determinantes da difusão destas tecnologias. Porém, entende-se que se deve também evoluir para análises do processo de difusão que permitam compreender quanto e em qual velocidade as tecnologias são adotadas em diferentes contextos econômicos.

Assim sendo, o problema de pesquisa analisado neste artigo é: ‘qual é a dinâmica do processo de difusão da tecnologia da internet e da telefonia móvel nos países desenvolvidos e nos países em desenvolvimento?’ O objetivo, então, é compreender a dinâmica do processo de difusão das tecnologias da internet e da telefonia móvel nos países desenvolvidos e em desenvolvimento selecionados (G7<sup>1</sup> e BRICS<sup>2</sup> respectivamente). Para tanto, serão estimados os parâmetros de adotantes inovadores, de adotantes imitadores e o estado assintótico<sup>3</sup> de cada tecnologia (internet e telefonia móvel) para cada nação; será verificada a precisão do modelo de Bass (1969), para o ajuste da curva de difusão destas tecnologias, (comparando os dados empíricos de consumo à curva ajustada do modelo); será examinada a velocidade<sup>4</sup> de difusão das tecnologias estudadas; projetada a capacidade de crescimento do consumo destas tecnologias, bem como estimados os pontos de

---

<sup>1</sup>Países democráticos mais industrializados: EUA, Alemanha, Canadá, França, Itália, Japão, Reino Unido. Fonte: <http://www.worldbank.org> / <http://www.pralmeida.org>.

<sup>2</sup>Países em desenvolvimento: Brasil, Rússia, Índia, China, África do sul. Além de países continentais, são atualmente as maiores economias emergentes. Fonte: <http://www.worldbank.org> / <http://www.pralmeida.org>.

<sup>3</sup> Ponto de saturação.

<sup>4</sup> Relação entre o tempo e a quantidade de adotantes.

inflexão; e, por fim, serão analisados como os resultados encontrados contribuem para a compreensão do progresso tecnológico das nações.

De acordo com Prince e Simon (2009), as TIC aceleram o processo de socialização de outras inovações. O relatório do *World Bank* (2008) também sinalizou para o fato de as TIC acelerarem a difusão de outras tecnologias, em especial, no mundo em desenvolvimento. Sabendo-se da influência das TIC no meio social e na economia, presume-se que uma análise da difusão no nível de desdobramento aqui proposto, pode fornecer alguns elementos explicativos para melhor compreender o progresso técnico.

Na próxima seção é apresentada a revisão bibliográfica. Posteriormente é explicado o modelo utilizado para analisar a dinâmica da difusão da telefonia móvel e da internet nos dois contextos econômicos escolhidos. Na seqüenciaraõ feitas a análise e discussão dos resultados. E, por fim, são apresentadas as considerações finais.

## **2. Difusão de inovações: um enfoque nas tecnologias de informação e comunicação (TIC)**

A difusão de uma inovação é “[...] processo no qual uma inovação é comunicada através de certos canais ao longo do tempo entre os membros de uma dimensão social do sistema” (ROGERS, 2003, p.5).

Considerando as TIC, essas trouxeram consigo relevantes impactos para as estruturas industriais: i) aumento de produtividade (SÁNCHEZ *et al*, 2006); ii) redução dos custos de transação, pois a internet facilitou o acesso a informações, gerando bloqueios a certas formas de discriminação de preços (BOCQUET; BROSSARDT; SABATIER, 2007). Estas tecnologias expandem as possibilidades no uso das informações bem como da geração de novos conhecimentos, o que contribui para o progresso técnico, e por sua vez, segundo Mansell e Wehn (1998) e Cassiolato (1999), complementam as capacidades tecnológicas para gerar o crescimento econômico. Em função da rápida difusão da telefonia móvel e da internet, ocorrem efeitos socioeconômicos, dos quais três merecem atenção especial: i) ciclos de vida demasiadamente curtos para os produtos (DAY; SCHOEMAKER; GUNTHER, 2004); ii) facilitação das inovações incrementais, especialmente de processos (MUNIZ, 2000); iii) maior concorrência, logo, novos meios de organização da produção e remodelagem nas redes de comércio e consumo (WAVERMAN; MESCHI; FUSS, 2005). Efeitos estes que estão diretamente ligados à emergência da remodelagem dos negócios.

A seguir foi feita uma síntese da revisão empírica realizada no âmbito da difusão das TIC, expondo as principais pesquisas e seus principais resultados.

**Quadro 1 – Pesquisas empíricas a respeito da difusão da Telefonia Móvel e da Internet (continua)**

<b>TELEFONIA MÓVEL</b>		
<b>OBJETIVOS DA PESQUISA</b>	<b>AUTORES REVISADOS</b>	<b>PRINCIPAIS RESULTADOS</b>
Avaliar impactos na economia	GRUBER; KOUTROUMPIS, 2011. WAVERMAN; MESCHI; FUSS, 2005. AKER; MBITI, 2010.	Impacto positivo no crescimento da produtividade e do produto interno bruto (PIB).
Identificar variáveis determinantes para difusão	GRUBER, 2001. GRAJEK; KRETSCHMER 2009. AHN; LEE, 1999. BAGCHI; KIRS; LÓPEZ, 2008. GRUBER; VERBOVEN, 2001b. KOSKI; KRETSCHMER, 2005. LIIKANEN; STONEMAN; TOIVANEN, 2004. GRUBER; KOUTROUMPIS, 2010. KALBA, 2008. LEE; LEE, 2014. DOGANOGLU; GRZYBOWSKI, 2007. GRAJEK, 2003. GRZYBOWSKI; KARAMTI, 2010. ABU, 2010. GUPTA; JAIN, 2012.	<p>Maior velocidade de difusão nos países que adotaram tardiamente; Concorrência como um dos principais fatores explicativos para difusão;</p> <p>Telefone móvel é um bem substituto a linha fixa nos países em desenvolvimento e complementar na maioria dos desenvolvidos;</p> <p>Competição entre sistemas e padrões influencia positivamente; Gerações anteriores influenciam positivamente as novas (presença efeitos de rede);</p> <p>Preço, governo e demografia exercem influência sobre a difusão.</p>
Descrever o comportamento do processo de difusão	FIGUEIREDO, 2009. SINGH, 2008.	<p>Telefonia móvel atingiria sua saturação no Brasil por volta do ano de 2013;</p> <p>Projeção da quantidade da população da Índia com telefone móvel em diversos anos e estimou receitas das operadoras e tributos ao governo.</p>
<b>INTERNET</b>		
<b>OBJETIVOS DA PESQUISA</b>	<b>AUTORES REVISADOS</b>	<b>PRINCIPAIS RESULTADOS</b>
Identificar variáveis determinantes para difusão	ANDRÉS, <i>et al</i> , 2010. KIISKI; POHJOLA, 2002. WUNNAVA; LEITER, 2009. MILNER, 2003. BEILOCK; DIMITROVA, 2003. CHINN; FAIRLIE; 2006. HARGITAI, 1999. CORROCHER, 2003. CRENSHAW, ROBISON, 2006. BAGCHI; UDO; KIRS, 2007. BAUER; BERNE; MAITLAND, 2002. LIU; LI, 2010. TAN; CLARK, 2000.	<p>Maior velocidade de difusão nos países que adotaram tardiamente; Renda per capita é um dos determinantes de maior peso para a difusão da internet;</p> <p>A difusão é caracterizada por curva em forma de S, diferente em cada país;</p> <p>Regulamentação influencia difusão;</p> <p>Nível de escolaridade e domínio da língua inglesa afeta positivamente a difusão.</p>

Fonte: elaborado pelos autores

A partir desta revisão emergiram duas hipóteses a serem verificadas neste estudo:

1) países que adotaram tardiamente tecnologias da internet e telefonia móvel obtiveram maiores velocidades de difusão; e

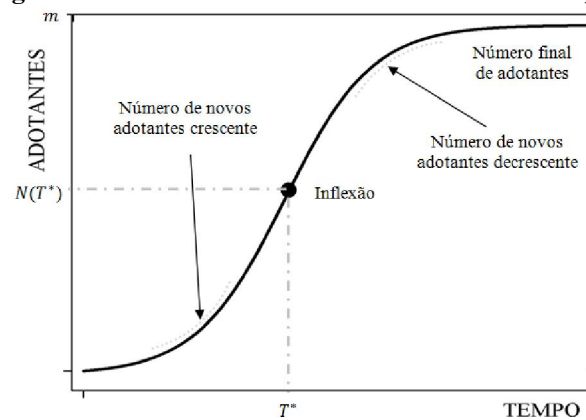
2) quanto maior o nível de desenvolvimento de um país: i) maior o número de adotantes inovadores em sua população; ii) mais rapidamente este atinge a mudança de taxa, que ocorre quando o incremento de novos adotantes passa de crescente para decrescente.

Por fim, cabe aqui destacar que os esforços dos estudos a respeito da difusão da telefonia móvel e da internet destinam-se a: i) identificação dos determinantes que influenciam sua adoção(maior incidência); ii) avaliação dos impactos na economia. Desta maneira, infere-se a necessidade de destinar esforços para compreender a dinâmica do processo de difusão, investigando-o por meio de modelos matemáticos. Para tanto, a próxima seção apresenta o método adotado neste trabalho.

### 3. Método

Segundo Rogers (1962), há um comportamento padrão na difusão das inovações em sistemas sociais, propondo qualitativamente que, o processo inicia por um período de crescimento lento, seguido de uma expansão mais acelerada, passando posteriormente por outro período de crescimento lento, ou seja, a dinâmica dos novos adotantes  $n(t)$  não cresce ou decresce indefinidamente, pelo contrário, é maximizada em determinado tempo:

**Figura 1– Formato S do crescimento de uma inovação**



Fonte: elaborado pelos autores com base na obra de Rogers (1962).

Somando o número de novos adotantes<sup>5</sup> no intervalo de tempo  $0 \leq t \leq T$ , obtém-se o número de adotantes acumulados no tempo  $T$ , ou simplesmente, adotantes no tempo  $N(T)$ . Diferente dos novos adotantes, a dinâmica dos adotantes não possui concavidade. Na verdade, transita entre as concavidades côncava ( $0 \leq t < T^*$ ) e convexa ( $t > T^*$ ), caracterizada pela inflexão<sup>6</sup> em  $T^*$  (ver Figura 1). Ou seja, por um lado, no intervalo  $0 \leq t < T^*$  o número de adotantes cresce a uma taxa acelerada. Por outro,  $t > T^*$ , o número de novos adotantes aumenta a uma taxa retardada. Em destaque, quando  $t = T^*$  ocorre a mudança da taxa de crescimento do número de adotantes (acelerado  $\rightarrow$  retardado). Neste aspecto, observa-se que, a inflexão controla as taxas em que a tecnologia é adotada na população. Além disso, percebe-se que a dinâmica dos adotantes cessa no limite em que  $t \rightarrow \infty$ . Esta ressalva é importante visto que, associa um número final de adotantes  $m$ . Este número, por sua vez, mede o quão bem sucedida é a difusão de uma inovação na população. As afirmações realizadas acima são suficientes, segundo Rogers (1962) para justificar o comportamento do tipo “S” para difusão de diferentes tecnologias.

Um dos primeiros modelos matemáticos bem sucedidos em quantificar o sugerido por Rogers (1962), foi proposto por Bass (1969). Neste modelo, devemos considerar uma população constante dividida entre adotantes ( $N$ ) e não adotantes ( $NA$ )<sup>7</sup> misturados entre si de forma homogênea que interagem num tempo contínuo. A dinâmica entre os grupos procede de tal forma que, um indivíduo não adotante torna-se adotante com base em duas taxas, a saber: i) taxa de

<sup>5</sup>Se o tempo é contínuo, denominamos esta soma de integral.

<sup>6</sup>Mudança de taxa: o incremento (no caso, os adotantes da inovação) passa de crescente para decrescente.

<sup>7</sup>Indivíduos que ainda não adotaram e podem ser novos adotantes.

inovação ( $p$ ), os inovadores; ii) taxa de imitação ( $q$ ), os imitadores. Nesse contexto, Bass (1969) propõe que o processo de adoção é conduzido principalmente pelos imitadores (aqueles que agem devido à influência interna do sistema social, o contato, o “boca a boca”), sendo que os inovadores agem somente pela influência externa (as mídias). Equacionando a proposição de Bass (1969), obtemos a seguinte equação diferencial:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m}N(t)[m - N(t)] \quad (1)$$

na qual:  $p$  é o parâmetro de adotantes inovadores;  $q$  é o parâmetro de adotantes imitadores;  $m$  é o número final de adotantes totais (ponto de saturação ou estado assintótico);  $N(t)$  e  $n(t)$  são os números de adotantes totais e novos adotantes respectivamente no tempo  $t$ . Os valores dos parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $m$ , são números relativos, ou seja, representam o percentual da população de determinado país.

A equação (1) é uma equação diferencial ordinária de primeira ordem. Sendo assim, dada a condição inicial  $N(0) = N_0$ , a sua solução  $N(t)$  pode ser obtida via integração imediata. Uma vez que se conhece  $N(t)$ , pode-se tanto quantificar a dinâmica dos novos adotantes bem como expressar analiticamente o tempo de inflexão, conforme se descreve no Quadro 2:

**Quadro 2– Equações para dinâmica do processo de difusão segundo Bass (1969)**

<b>EQUAÇÃO</b>	<b>FINALIDADE</b>
(2) $N(t) = \frac{m(-m+N_0)e^{-(p+q)t}p+m(mp+N_0q)}{(m-N_0)qe^{-(p+q)t}+(mp+N_0q)}$	Número de adotantes para cada instante de tempo.
(3) $n(t) = \frac{m(m-N_0)(p+q)^2(mp+N_0q)e^{-(p+q)t}}{(e^{-(p+q)t}(m-N_0)q+(mp+N_0q))^2}$	Número de novos adotantes no tempo $t$ .
(4) $T^* = \frac{1}{p+q} \ln \left( \frac{(m-N_0)q}{mp+N_0q} \right)$	Instante de tempo crítico.
(5) $N(T^*) = m \left( \frac{1}{2} - \frac{p}{2q} \right)$	Número de adotantes no instante de tempo em que ocorre a inflexão.
(6) $n(T^*) = \frac{m}{4q} (p + q)^2$	Número máximo de novos adotantes.

Fonte: elaborado pelos autores com base na obra de Bass (1969)

As equações de Bass (1969) reproduzem a dinâmica sugerida por Rogers (1962). Ademais, nota-se que as soluções analíticas apresentadas para a dinâmica dos novos adotantes e adotantes possuem uma dependência exponencial,  $e^{-(p+q)t}$ . A taxa em que o termo exponencial tende à zero no tempo cresce com o aumento do valor de  $p + q$ . Desta constatação é possível observar que tal coeficiente controla a velocidade em que a tecnologia é difundida. No contexto do problema, afirma-se que, a velocidade da difusão é diretamente proporcional a soma das taxas de inovação e imitação.

Trata-se de um modelo consolidado e suas aplicações e propriedades matemáticas são consideradas válidas na atualidade. Constata-se isso, visto que atualmente inúmeras pesquisas dedicam-se a: i) revalidar tal modelo (KRISHNAN; JAIN 2006; LEHMANN; ESTEBAN-BRAVO 2006; KRISHNAN; BASS; JAIN 1999; BASS; KRISHNAN; JAIN 1994); e ii) utilizá-lo para predição de demanda por novos produtos, estimação de pontos de saturação de tecnologias específicas e, até mesmo, para otimizações de inventários na atividade industrial (PORATH; SCHAEFER, 2014; PHUC; VINCENT; CHOU, 2013; TURK; TRKMAN, 2012). A respeito dos modelos para difusão de inovações, o modelo de Bass (1969) é o mais usado, contabilizando aproximadamente 7.000 citações até o momento.

Dada a série temporal do número de adotantes das diferentes tecnologias, buscou-se encontrar a melhor curva de ajuste caracterizada pela equação (2). Para tanto, deve-se determinar qual o conjunto de parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $m$  que otimiza o ajuste. Estes parâmetros ótimos serão determinados com o auxílio do software Mathematica (MANGANO, 2010). Em particular,

selecionou-se o método dos mínimos quadrados<sup>8</sup>. A fim de comparar o quanto os dados empíricos se diferem do comportamento típico da difusão para os adotantes (curva “S”), proposto por Rogers (1962), linearizou-se a equação (2). Disto emerge a seguinte equação:

$$t = \frac{1}{p+q} \ln \left| \frac{(m-N_0)(mp+Nq)}{(m-N)(mp+N_0q)} \right| \quad (7)$$

em que  $p, q$  e  $m$  são os parâmetros de adotantes inovadores, imitadores e o número final de adotantes totais, respectivamente, determinados de acordo com o parágrafo anterior;  $N_0$  representa o valor da quantidade de adotantes para o instante de tempo zero da série histórica (1990);  $N$  representa o valor da quantidade de adotantes em determinado instante de tempo entre os anos de 1990 e 2014. Nota-se que a equação (7) trata de uma reta identidade,  $t = t(N)$ . Sendo assim, a difusão das diferentes tecnologias nos diversos países será tão mais próxima ao modelo proposto por Bass (1969) quanto mais os dados empíricos se agruparem em torno da reta.

A base de dados referente ao consumo<sup>9</sup> de telefonia móvel e de internet dos países analisados foi extraída da ITU<sup>10</sup> (*International Telecommunication Union*). A relevância desta base pode ser verificada em diversos artigos relacionados à temática, sendo muitos para investigação na economia (LEE; LEE, 2014; GUPTA; JAIN, 2012; GRUBER; KOUTROUMPIS, 2011; CHINN; FAIRLIE, 2006; WAVERMAN; MESCHI; FUSS, 2005; KIISKI; POHJOLA, 2002; BAUER; BERNE; MAITLAND, 2002; GRUBER; VERBOVEN, 2001a; RÖLLER; WAVERMAN, 2001; HARGITTAI, 1999; AHN; LEE, 1999). O período selecionado para análise compreende o intervalo de 1990 a 2014. Nota-se que a série temporal sugere ser adequada, visto que o primeiro período coincide com o ano em que, consumidores na grande maioria dos países, puderam ter acesso pela primeira vez a estas tecnologias. Conforme Grajek (2003), na maioria dos países, estes tipos de tecnologias estiveram disponíveis para o consumidor apenas no início década de 1990.

Exposto os postulados de Rogers (1962) e a dinâmica que embasa ao modelo adotado para análise da difusão na pesquisa – Bass (1969) – surgem outras duas hipóteses a serem verificadas:

3) a dinâmica da difusão das tecnologias, objeto de estudo da presente pesquisa, segue o formato “S” para o número total de adotantes proposto por Rogers (1962), indiferentemente do contexto econômico, mudando somente a inclinação; e

4) O modelo de Bass (1969) descreve o processo de difusão destas tecnologias com precisão, ou seja, com pequenas margens de erros.

Na próxima seção são apresentados e analisados os resultados.

#### 4. Análise dos resultados

Os painéis a seguir, representados na Figura 2 e Figura3, apresentam da esquerda para direita os testes de linearização e os parâmetros encontrados para cada nação no que tange a tecnologia da telefonia móvel e da internet, respectivamente. O primeiro horizonte compreende o agrupamento do G7, e, logo abaixo, está o BRICS.

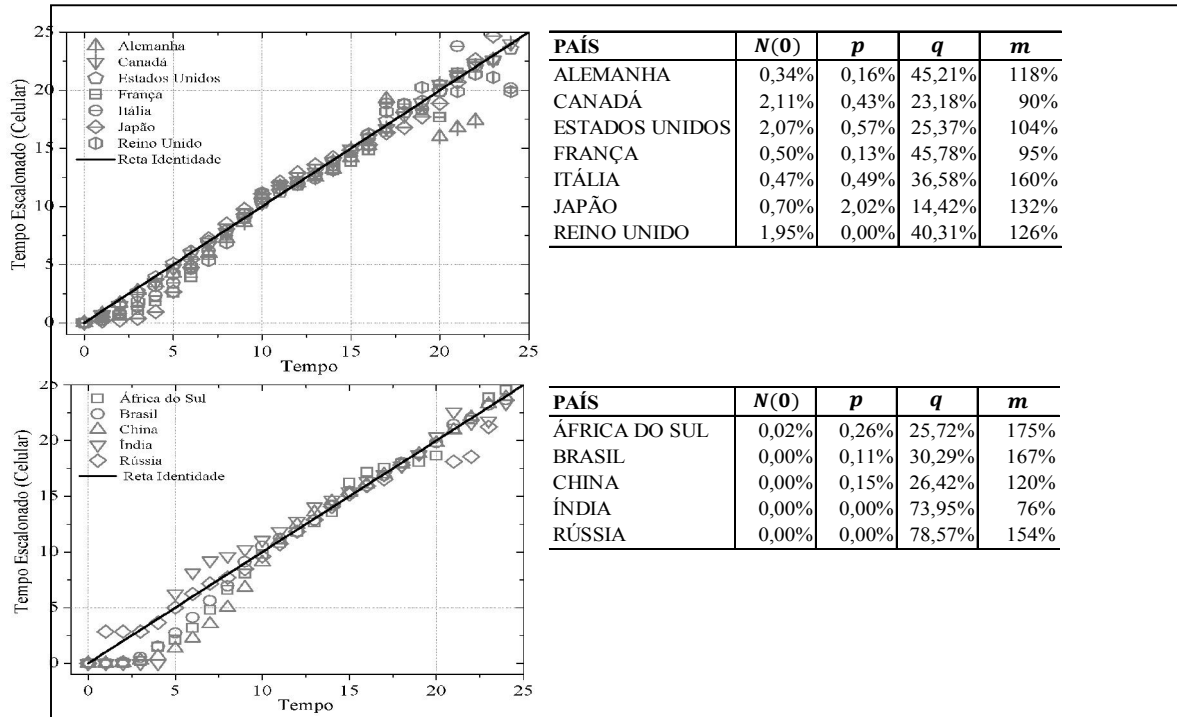
---

<sup>8</sup>Técnica matemática que visa encontrar um melhor ajuste para um conjunto de dados minimizando a soma dos quadrados dos resíduos. Resíduo: diferença entre o valor estimado e as observações (dados empíricos).

<sup>9</sup>Disponível em percentual da população e em números absolutos na ITU.

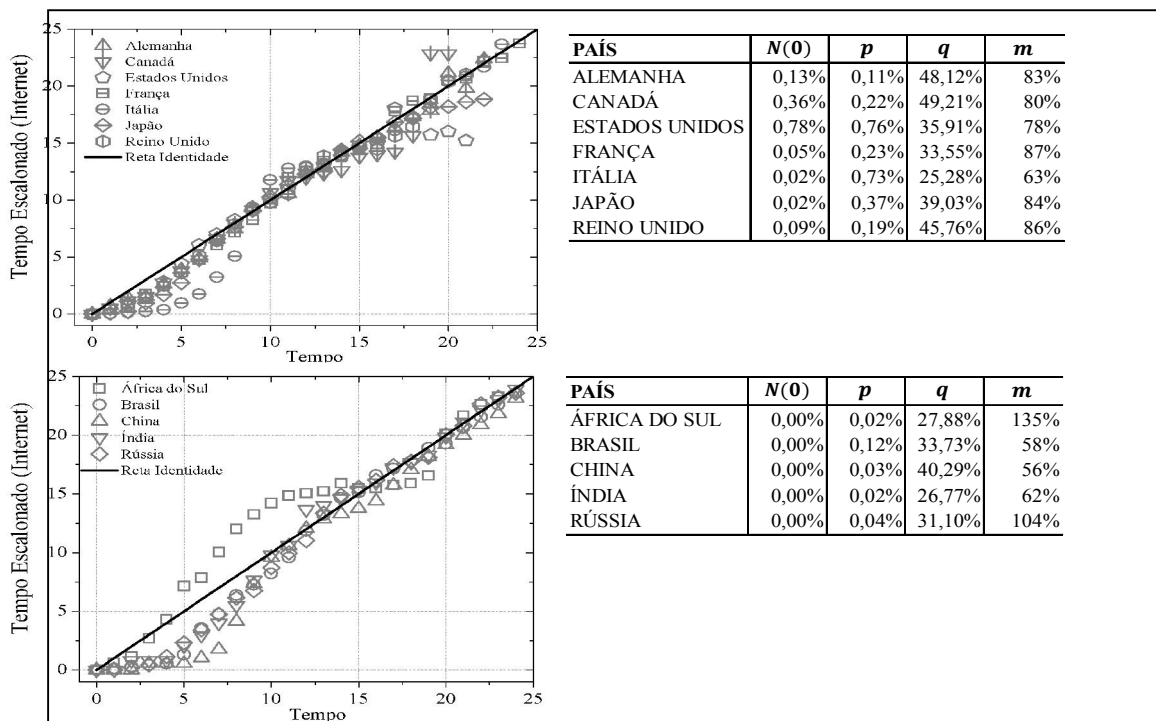
<sup>10</sup><http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>.

**Figura 2 – Linearização e parâmetros do modelo para tecnologia da telefonia móvel**



Fonte: elaborado pelos autores

**Figura 3 - Linearização e parâmetros do modelo para tecnologia da internet**



Fonte: elaborado pelos autores

Três inferências emergem a partir da análise gráfica da linearização: a) o modelo é eficaz para descrever o processo de difusão destas duas tecnologias; b) nas economias em



desenvolvimento, o modelo tem maiores dificuldades de ajustar a curva no início da difusão; e c) nas economias desenvolvidas, o modelo tem maiores dificuldades de ajustar a curva próximo do fim da dinâmica.

A “dificuldade” mencionada referencia o quanto os dados empíricos se afastam da reta identidade. Eventos podem ter conduzido estes movimentos pontuais, afastando as adoções dos valores esperados, em especial, aqueles de predição impossível, tanto o seu instante de acontecimento bem como a sua intensidade, e, portanto, variáveis que não se tem controle em nenhum tipo de modelagem.

No intuito de mensurar a qualidade da curva de ajuste frente aos dados empíricos, definiu-se o erro médio  $\langle N_E \rangle$ <sup>11</sup>e o desvio padrão  $\sigma_{N_E}$  por meio das seguintes equações respectivamente:

$$\langle N_E \rangle = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^T |N_E(k) - N_A(k)| \quad (8)$$

$$\sigma_{N_E} = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{k=1}^T (N_E(k) - \langle N_E \rangle)^2} \quad (9)$$

em que  $N_E(k)$  é o número de adotantes no instante k (empírico),  $N_A(k)$  é o número de adotantes no instante k (ajuste) e  $T = 25$  refere-se ao tamanho do intervalo de tempo de observação da série temporal.

Abaixo, a Tabela 1,ordena os menores erros médios e os respectivos desvios padrão da curva ajustada pelo modelo frente aos dados empíricos, para tecnologia da telefonia móvel em cada país analisado:

**Tabela 1 – Erro e desvio padrão da curva ajustada em relação aos dados empíricos para tecnologia da Telefonia Móvel**

PAÍS	$\langle N_E \rangle$	$\sigma_{N_E}$
ESTADOS UNIDOS	0,674%	0,598%
CANADÁ	0,744%	0,563%
ÍNDIA	1,293%	1,663%
CHINA	1,384%	0,958%
BRASIL	1,409%	1,046%
RÚSSIA	2,966%	4,323%
REINO UNIDO	3,191%	3,766%
FRANÇA	3,420%	2,487%
ÁFRICA DO SUL	4,212%	4,249%
JAPÃO	4,447%	2,856%
ITÁLIA	4,529%	3,601%
ALEMANHA	5,106%	4,047%

Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se que para tecnologia da telefonia móvel, entre os quatro menores erros há a presença de duas economias desenvolvidas e duas em desenvolvimento respectivamente, a saber, Estados Unidos, Canadá, Índia e China. Destaca-se, que nos dois menores erros, das economias desenvolvidas citadas, o modelo erra menos de 1%. Já os quatro maiores erros encontram-se em África do Sul, Japão, Itália e Alemanha, respectivamente. A seguir, a Tabela 2, ordena os menores erros médios e os respectivos desvios padrão da curva ajustada pelo modelo frente aos dados empíricos, para tecnologia da internet.

<sup>11</sup>Erro: distância entre o dado empírico e a curva ajustada do modelo em cada instante de tempo. Médio: ao longo de 25 anos (1990-2014).

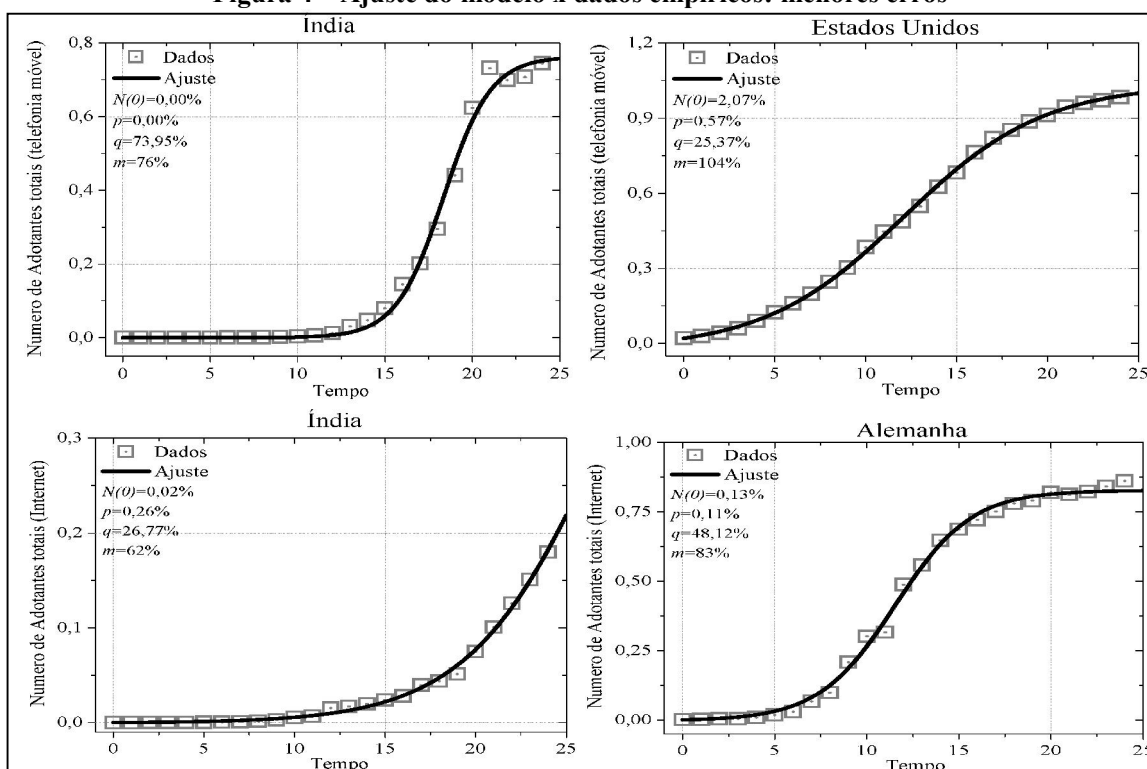
**Tabela 2 – Erro e desvio padrão da curva ajustada em relação aos dados empíricos para tecnologia da Internet**

PAÍS	$\langle N_E \rangle$	$\sigma_{N_E}$
ÍNDIA	0,214%	0,215%
CHINA	0,598%	0,581%
BRASIL	1,244%	1,080%
RÚSSIA	1,425%	1,510%
ALEMANHA	1,559%	1,178%
FRANÇA	2,074%	2,026%
JAPÃO	2,384%	1,641%
ESTADOS UNIDOS	2,404%	2,477%
ÁFRICA DO SUL	2,428%	2,220%
REINO UNIDO	2,516%	2,582%
ITÁLIA	2,599%	2,133%
CANADÁ	3,040%	2,247%

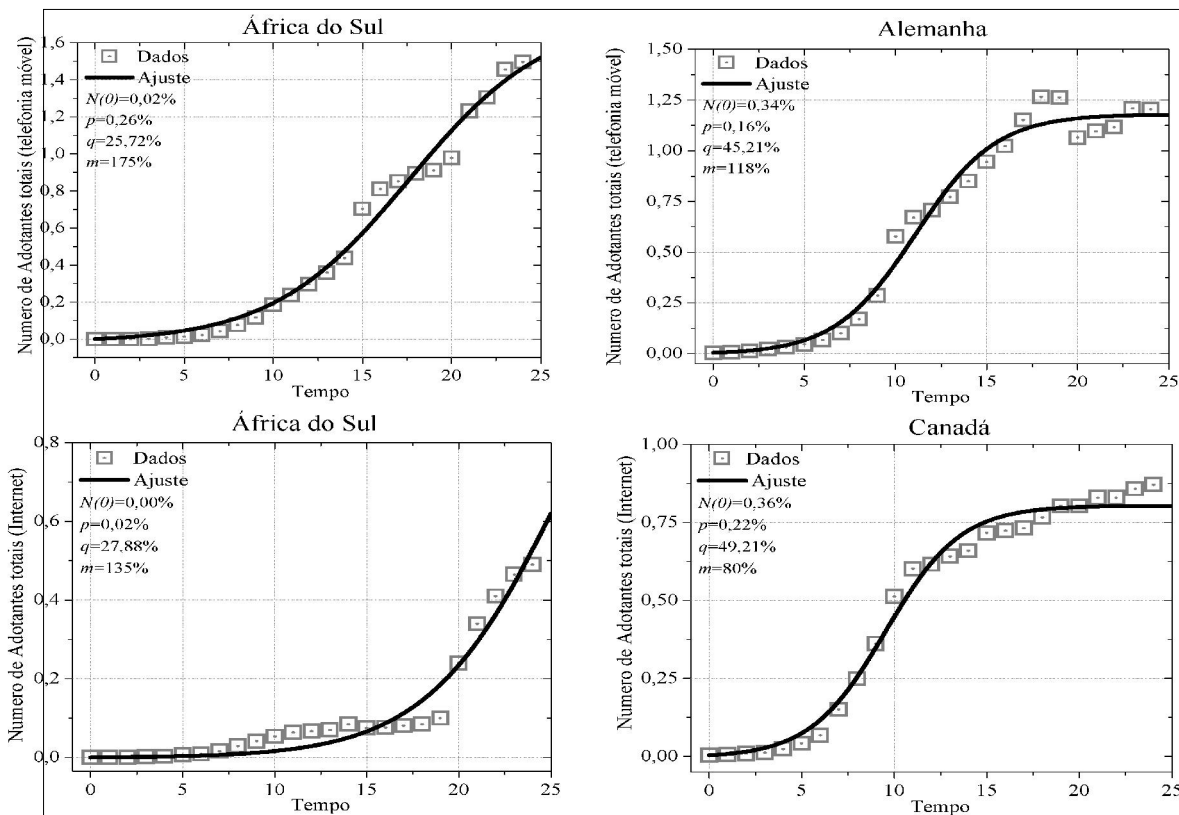
Fonte: elaborado pelos autores

Na tecnologia da internet, entre os quatro menores erros encontram-se apenas nações em desenvolvimento, Índia, China, Brasil e Rússia, respectivamente. Como se pode observar, nas quatro nações referenciadas, o erro não chega a ultrapassar 1,5%. Nos quatro maiores erros encontra-se uma nação em desenvolvimento e três desenvolvidas, à saber, África do Sul, Reino Unido, Itália e Canadá, respectivamente. Estando de posse da existência de uma amplitude de erro de apenas 4,43% para tecnologia da telefonia móvel e apenas 2,83% para internet, dispensa-se a apresentação de todos os vinte e quatro (12 países x 02 tecnologias) gráficos das curvas “S” da dinâmica da difusão. Desta maneira, a seguir apresentam-se dois painéis contendo os gráficos da curva ajustada pelo modelo x dados empíricos, obedecendo-se ao seguinte critério: menor e maior erro médio mensurado por tecnologia por grupo. A Figura 4 apresenta os gráficos dos menores erros, sendo que então a Figura 5 apresenta os gráficos dos maiores erros, em que, cada painel retrata da esquerda para a direita os grupos (BRICS e G7 respectivamente) e de cima para baixo as tecnologias (telefonia móvel e internet respectivamente):

**Figura 4 – Ajuste do modelo x dados empíricos: menores erros**



**Figura 5–Ajuste do modelo x dados empíricos: maiores erros**



Fonte: elaborado pelos autores

Como se pode verificar, desde os erros médios e desvios padrão mensurados e apresentados em tabela anterior, complementando-se agora com a análise gráfica, o modelo de Bass (1969), aproxima-se satisfatoriamente aos dados empíricos para estes tipos de tecnologias. O erro médio de cada tecnologia para cada grupo é apresentado na Tabela 3 que segue:

**Tabela 3 – Erro médio do modelo por grupo para cada tecnologia**

GRUPO	TELEFONIA MÓVEL	INTERNET
BRICS	2,3%	1,2%
G7	3,2%	2,4%

Fonte: elaborado pelos autores

Da tabela anterior, é possível observar-se ainda que, o modelo erra menos ao ajustar a curva da difusão destas tecnologias nas economias em desenvolvimento do que nas desenvolvidas. Adicionalmente, se ajusta melhor aos dados da internet. A próxima seção trata-se de uma investigação das velocidades destas tecnologias para cada país.

A velocidade da difusão de uma nova tecnologia está diretamente relacionada à taxa de adoção, isto é, a variação no número de adotantes no período de um ano na série temporal tomada como amostra na pesquisa. A avaliação desta velocidade, segundo Tigre (2002), é de fundamental importância para estudos mercadológicos bem como para servir de parâmetro para o estabelecimento de metas e monitoramento de políticas públicas.

Para medir a velocidade instantânea, tomou-se a derivada numérica dos dados empíricos. Um dos métodos mais simples para esta finalidade é o das diferenças finitas (FRANCO, 2006). Segundo este algoritmo, a derivada pode ser aproximada como segue:

$$V = \frac{dN}{dt} \simeq \frac{N_{t+1} - N_t}{\Delta t} \quad (10)$$

em que  $N_t$  é o número de adotantes no instante  $t$ ;  $N_{t+1}$  é o número de adotantes do instante de tempo posterior ao instante  $t$ ;  $\Delta t$  é o passo de tempo (em particular,  $\Delta t = 1$  ano). Assim, deve-se perceber que, cada série temporal associada ao número de adotantes, gera outra série de dados correspondente à velocidade instantânea. Para evitar a observação de toda a série, caracterizou-se seu valor médio (a velocidade média) e, portanto seu desvio padrão, respectivamente demonstrados nas equações que seguem:

$$v = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T V_i \quad (11)$$

$$\sigma_{N_E} = \sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{i=1}^T (V_i - v)^2} \quad (12)$$

em que  $T = 25$  anos, corresponde ao tempo de observação da série. A seguir, a Tabela 4 ordena as maiores velocidades média de acordo com a proposição supracitada, para a tecnologia da telefonia móvel:

**Tabela 4 - Velocidade de difusão da tecnologia da telefonia móvel**

PAÍS	$v$	$\sigma_{N_E}$
ITÁLIA	5,28%	8,05%
RÚSSIA	4,95%	12,53%
JAPÃO	4,71%	2,92%
REINO UNIDO	4,60%	6,65%
FRANÇA	4,25%	4,53%
BRASIL	4,17%	8,17%
ESTADOS UNIDOS	3,88%	2,19%
ÁFRICA DO SUL	3,65%	12,48%
CANADÁ	3,52%	1,90%
ÍNDIA	3,17%	5,09%
CHINA	3,15%	4,07%
ALEMANHA	2,46%	13,03%

Fonte: elaborado pelos autores

Conforme proposto por Tigre (2002), a taxa de adoção, ou, a velocidade em que a nova tecnologia é adotada por membros de um sistema social, tende a variar segundo o país, o setor e a região. Por exemplo, a Itália possui a maior velocidade ao passo que a Alemanha tem a menor velocidade média ao longo dos 25 anos analisados. Leia-se, média de 5,28% adotantes / ano e média de 2,46% adotantes / ano, respectivamente.

O desvio padrão exibido na terceira coluna da Tabela 4 possibilita visualizar o quanto os valores das velocidades instantâneas estão dispersos em relação ao seu valor médio. Sendo assim, observa-se que no caso da Itália, a velocidade instantânea possui uma variabilidade em seu valor de 8,05% / ano. Dito em outras palavras, aproximadamente 66% dos valores das velocidades instantâneas da Itália estão limitadas no intervalo de 0% / ano - 13,33% / ano. Analogamente o intervalo das velocidades instantâneas para a Alemanha é de 0% / ano - 15,49% / ano.

A Tabela 5 a seguir, ordena as nações de acordo com as maiores velocidades médias para tecnologia da internet:

**Tabela 5 - Velocidade de difusão da tecnologia da internet**

PAÍS	$v$	$\sigma_{N_E}$
FRANÇA	3,80%	4,25%
ESTADOS UNIDOS	3,64%	3,27%
REINO UNIDO	3,51%	4,64%
RÚSSIA	3,50%	4,57%
ALEMANHA	3,40%	3,87%
BRASIL	3,25%	4,38%
CANADÁ	2,95%	4,65%
ITÁLIA	2,62%	2,51%
CHINA	2,37%	2,28%
ÁFRICA DO SUL	1,70%	3,65%
JAPÃO	1,28%	11,00%
ÍNDIA	0,92%	1,23%

Fonte: elaborado pelos autores

Notoriamente, para a internet, o número de adotantes por ano está muito mais próximo ao valor médio, sugerindo ser uma difusão mais homogênea. A França possui a maior velocidade média com 3,80% / ano, e, cerca de 66% dos valores das velocidades instantâneas deste país limitam-se em um intervalo de 0% / ano - 8,04% / ano. Do mesmo modo, a Índia com a menor velocidade média, a saber, 0,92% / ano, têm as velocidades instantâneas limitadas por um intervalo de 0% / ano - 2,15% / ano.

Nota-se que, em ambas as tecnologias, não há possibilidade de se formar um agrupamento por homogeneidade no que tange aos contextos econômicos frente às maiores ou menores velocidades. Destaca-se que não há uma relação direta entre a velocidade e o nível de desenvolvimento das economias analisadas, por exemplo, nas maiores velocidades concentrarem-se somente todos os países desenvolvidos, ou somente todos em desenvolvimento.

É importante recordar, no que se refere à capacidade de crescimento destas tecnologias para cada país e os pontos de inflexão estimados, que o instante de tempo zero da série de dados, em geral, não é o instante em que o número de adotantes é nulo. No entanto, está muito próximo, visto que a maioria dos países possui consumo inferior a 1% de sua população em 1990.

A seguir, são exibidas as tabelas 6 e 7 para telefonia móvel e internet, respectivamente, que, apresentam para cada nação da esquerda para direita: i) o instante de inflexão a partir de 1990; ii) o quanto esta tecnologia ainda pode crescer em relação ao universo dos adotantes ( $m/N(2014) - 1$ ); iii) projeções para os próximos seis anos do número relativo final de adotantes totais ( $m$ ). Destaca-se que o ano 2015 encontra-se como projeção, visto que a base utilizada fornece dados empíricos até o ano de 2014, uma vez que a presente pesquisa fora executada durante o exercício de 2015, obviamente, então, não dispondo ainda de dados para este ano.

**Tabela 6 – Projeções para tecnologia da telefonia móvel**

PAÍS	T*	ESTIMATIVA DA DINÂMICA DO CRESCIMENTO						
		% ADOTANTES	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ÁFRICA DO SUL	17 anos e 8 meses	16,91%	152,0%	156,7%	160,5%	163,5%	166,0%	167,9%
ALEMANHA	11 anos e 2 meses	-2,01%						
BRASIL	18 anos e 6 meses	20,19%	147,1%	151,9%	155,6%	158,5%	160,7%	162,3%
CANADÁ	13 anos e 4 meses	8,45%	84,3%	85,4%	86,3%	87,0%	87,5%	88,0%
CHINA	19 anos e 5 meses	30,05%	98,1%	102,5%	106,2%	109,2%	111,6%	113,5%
ESTADOS UNIDOS	12 anos e 2 meses	5,68%	99,9%	100,7%	101,4%	101,9%	102,2%	102,5%
FRANÇA	10 anos e 6 meses	-5,34%						
ÍNDIA	18 anos e 5 meses	2,04%	75,8%	76,1%	76,2%	76,3%	76,3%	76,3%
ITÁLIA	11 anos e 1 mês	3,73%	158,7%	159,0%	159,2%	159,3%	159,4%	159,5%
JAPÃO	11 anos e 9 meses	9,79%	117,0%	119,2%	121,0%	122,6%	124,0%	125,2%
REINO UNIDO	10 anos e 4 meses	1,96%	125,9%	126,0%	126,1%	126,1%	126,1%	126,2%
RÚSSIA	15 anos	-0,74%						

Fonte: elaborado pelos autores

Com relação à inflexão observa-se que, nas economias em desenvolvimento esta tecnologia leva em média 18 anos para atingir a inflexão (mudar as taxas de crescentes para decrescentes), ao passo que nas economias desenvolvidas este fenômeno leva em média 11 anos para acontecer. Os países que atingem mais rapidamente a inflexão são todos do G7, a saber: 1º) Reino Unido; 2º) França; 3º) Itália; 4º) Alemanha; 5º) Japão; 6º) Estados Unidos; 7º) Canadá.

Na tabela acima é possível evidenciar que, dois países desenvolvidos e um país em desenvolvimento, a saber, Alemanha, França e Rússia respectivamente, possuem valores para a população de adotantes superiores ao valor final previsto pelo modelo. Isto é observado, uma vez que o modelo fornece estimativas para adotantes totais menores que o dado empírico em 2014, ( $m < N(2014)$ ). Nestas nações, espera-se um decréscimo no número de adotantes. A parte destes três países citados estimou-se para as demais nações um acréscimo no número de adotantes.

Verifica-se que as nações com as maiores perspectivas para crescimento desta tecnologia são China, Brasil e África do Sul, todas, economias em desenvolvimento. A seguir apresentam-se as projeções para a tecnologia da internet.

**Tabela 7 - Projeções para tecnologia da internet**

PAÍS	T*	ESTIMATIVA DA DINÂMICA DO CRESCIMENTO						
		% ADOTANTES	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ÁFRICA DO SUL	25 anos e 7 meses	175,51%	62,0%	71,4%	80,6%	89,4%	97,3%	104,4%
ALEMANHA	11 anos e 7 meses	-3,70%						
BRASIL	16 anos e 10 meses	0,69%	54,8%	55,7%	56,4%	56,9%	57,3%	57,5%
CANADÁ	9 anos e 7 meses	-8,17%						
CHINA	18 anos	13,59%	52,4%	53,4%	54,1%	54,5%	54,9%	55,1%
ESTADOS UNIDOS	9 anos e 6 meses	-10,71%						
FRANÇA	14 anos e 6 meses	3,88%	85,0%	85,7%	86,1%	86,5%	86,7%	86,9%
ÍNDIA	27 anos e 4 meses	244,44%	21,9%	25,8%	30,0%	34,1%	38,2%	42,0%
ITÁLIA	13 anos e 7 meses	1,68%	59,7%	60,3%	60,9%	61,3%	61,6%	61,9%
JAPÃO	11 anos e 9 meses	-7,26%						
REINO UNIDO	11 anos e 6 meses	-6,12%						
RÚSSIA	21 anos e 2 meses	47,48%	79,6%	84,8%	89,1%	92,6%	95,3%	97,3%

Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se que, nas economias em desenvolvimento a tecnologia da internet leva em média 22 anos para atingir a inflexão, ao passo que nas economias desenvolvidas este efeito leva em média 12 anos para acontecer. Novamente os países que atingem mais rapidamente a inflexão são

todos do G7, a saber: 1º) Estados Unidos; 2º) Canadá; 3º) Reino Unido; 4º) Alemanha; 5º) Japão; 6º) Itália; 7º) França.

Na tabela acima é possível evidenciar que, praticamente quase todas as economias desenvolvidas, a saber, Alemanha, Canadá, Estados Unidos, Japão e Reino Unido possuem valores para a população de adotantes superiores ao valor final previsto pelo modelo. Nestas nações, espera-se um decréscimo no número de adotantes. A parte destes países citados estimou-se para as demais nações um acréscimo no número de adotantes. Verifica-se que as nações com maiores perspectivas de crescimento são África do Sul, Índia, Rússia e China, todas, economias em desenvolvimento.

Destaca-se que, a partir da obtenção do número final de adotantes totais para cada ano, dispostos em uma sequência, é possível estimar-se uma valiosa informação: o quanto a tecnologia irá crescer a cada ano, e vale ressaltar que, esta projeção é tão melhor quanto maior a série de dados e menor a janela de previsão.

Em relação aos resultados desta pesquisa comparativamente aos estudos já realizados, segundo proposto por Gruber (2001), países que adotaram a telefonia móvel tardiamente possuem maiores velocidades de difusão. No entanto, a pesquisa de Gruber (2001), restringiu-se às regiões central e oriental da Europa, e, indícios destes supostos não são perceptíveis nos resultados encontrados nesta pesquisa, uma vez que, países que adotaram a telefonia móvel tardiamente (como por exemplo, Índia e China), figuram entre as economias que apresentam as menores velocidades (exceção da Rússia). O que se constatou foi que, países que adotaram tardiamente, como por exemplo, Rússia e Índia (passaram a adotar a telefonia móvel apenas em 1991 e 1994, respectivamente), têm os maiores parâmetros de adotantes imitadores respectivamente, dentre todas as nações investigadas.

Notadamente, nos países em desenvolvimento, o parâmetro ( $m$ ) indica que haverá em torno 1,5 assinaturas (linhas) de telefone móvel por pessoa ou mais (com exceção da Índia). Nos desenvolvidos, o número final de adotantes totais não atingirá a tamanhos níveis (com exceção da Itália). Isto é perfeitamente aceitável e explicável por meio de estudos como os de: i) Grzybowski e Karamti (2010) que demonstraram em países desenvolvidos a telefonia móvel ser complementar a telefonia fixa; ii) Waverman, Meschi, Fuss (2005) que demonstraram a telefonia móvel ser substituta a telefonia fixa nas economias em desenvolvimento.

A pesquisa de Figueiredo (2009) que também utilizou o modelo de Bass (1969) para o Brasil estimou que, a telefonia móvel atingiria sua saturação no Brasil, por volta do ano de 2013. No entanto, ao final de 2014, o Brasil possuía aproximadamente 1,4 linhas por habitante, e os *outputs* do modelo indicaram ter capacidade de chegar ainda a aproximadamente 1,7, índice este que, nem em 2020 seria atingido. Singh (2008), em sua pesquisa, também com propósitos similares ao desta, aplicada na Índia, utilizando-se do modelo de Gompertz (1825), já havia previsto o vertiginoso crescimento desta tecnologia neste país que, em 2005, possuía apenas 8% da população com telefonia móvel. Porém, suas projeções estavam subestimadas, uma vez que, projetou números totais de adotantes em relação à população do país na ordem de 37% em 2010 e 71% para 2016, sendo que, em 2010 chegou-se a 62% da população e em 2014 já eram 75%. Projetou que entre 2022-2023 haveria mais de uma linha por habitante, no entanto observou-se nesta pesquisa pelo modelo de Bass (1969), que isto não ocorrerá, visto que o estado assintótico indica no máximo 76% da população, demonstrando possibilidade de crescimento de apenas 2% até 2020. Vale lembrar que na tecnologia da telefonia móvel, o país em que o modelo aqui utilizado menos apresentou erro médio foi justamente na Índia.

Em relação à internet, evidenciou-se que a difusão da internet tem maiores velocidades nos seguintes países: 1º) França; 2º) Estados Unidos; 3º) Reino Unido; 4º) Rússia; 5º) Alemanha, todos desenvolvidos exceto a Rússia. Os estudos revisados sinalizam concordância de que, a renda per capita é o principal fator de explicação do aumento das taxas de utilização. No entanto, as maiores rendas per captas no ano de 2014 ficam a cargo de: 1º) Estados Unidos; 2º) Canadá; 3º) Alemanha; 4º) Reino Unido; 5º) França (*WORLD BANK*, 2015). Este paralelo fornece um indício de que, não necessariamente em todos os contextos econômicos a renda per capita venha a ser o fator primordial para difusão desta tecnologia. Não está aqui se pretendendo dizer que esta variável não influenciaria

ou não tem importância, muito pelo contrário, apenas demonstrar que em determinados contextos, esta pode perder sua intensidade, podendo ser acompanhada de outras variáveis influenciadoras na adoção desta tecnologia. Afinal, dentre as cinco maiores velocidades observadas, há presença de uma economia em desenvolvimento, e, quatro das maiores renda per capita estão entre as cinco maiores velocidades, porém, não necessariamente há um casamento de hierarquia destas duas grandezas.

Como visto em Andrés *et al* (2010) a adoção da internet segue sempre o formato da curva “S” proposta por Rogers (1962), mas com padrões diferentes entre países de baixa e alta renda. Estas proposições mostram-se verdadeiras na análise da presente pesquisa. Adicionalmente, Andrés *et al* (2010) comentam que os países de renda inferior onde a difusão começou com atraso, estariam desfrutando de maiores velocidades. Esta constatação é contestável pelos resultados aqui encontrados, uma vez que, as nações que adotaram tardiamente a internet (todas do BRICS e notadamente as de rendas per capita inferior) não figuram exatamente nas maiores velocidades ocupando o topo do ranking (salvo, novamente a Rússia).

A partir da observação das estimativas do número final de adotantes totais ( $m$ ), percebe-se que em muitas nações, quase metade da população não terá adotado a internet, é o caso de três das economias em desenvolvimento, a saber, China, Brasil e Índia, e uma economia desenvolvida, a Itália. Isto indica o previsto por Crenshaw e Robison (2006) de que mesmo com o crescimento da atividade de internet em um país, um hiato digital poderá existir. Tal fato poderá exercer efeitos duradouros e perniciosos sobre o crescimento econômico e desenvolvimento humano de uma nação.

## 5. Conclusões

A pesquisa revelou um conjunto de contribuições no tocante a dinâmica da difusão das TIC, visto que: i) a revisão empírica realizada constatou que os esforços de pesquisa concentram-se em identificar os determinantes; ii) empreendeu esforços importantes ao avaliar paralelamente esta dinâmica para um conjunto de países desenvolvidos e em desenvolvimento e, portanto, como tal dinâmica pode contribuir para a compreensão sobre a questão do progresso tecnológico.

A dinâmica da difusão da telefonia móvel e da internet para o conjunto de países avaliados, apresentou exatamente o mesmo comportamento proposto por Rogers (1962), para toda inovação: uma curva em forma de “S” ao longo do tempo, e que, apresenta características particulares a cada contexto econômico. A pesquisa evidenciou aquilo que Bass (1969) propunha, de que, os adotantes imitadores exercem maior influência sobre a difusão de novas tecnologias. Isto é perceptível uma vez que: i) a fração da população de adotantes imitadores é consideravelmente superior a fração de adotantes inovadores; ii) a Rússia com parâmetro( $p$ ) muito próximo a zero, mas com parâmetro ( $q$ ) de 78,5% (notadamente acima dos demais) é o país com a 2ª maior velocidade na tecnologia da telefonia móvel, e possui seu ponto de inflexão antecipado no mínimo em três anos em relação à economias semelhantes (grupo BRICS).

Observa-se que em ambas as tecnologias os países que figuram entre aqueles com os maiores parâmetros  $p$ , são países desenvolvidos, evidenciando desta maneira que, países com melhores rendas tendem a ter mais adotantes do tipo inovadores na população, ou seja, indivíduos mais dispostos a assumir riscos na adoção de alguma novidade do mercado (DICKERSON; GENTRY, 1983).

A pesquisa verificou ainda que: i) os países desenvolvidos analisados atingiram o ponto de inflexão no processo de difusão antes que as economias em desenvolvimento; ii) na maioria das economias em desenvolvimento analisadas, estas tecnologias ainda apresentam potencial capacidade para difusão; iii) cinco das maiores potências econômicas já teriam atingido saturação na adoção da internet, somente França e Itália ainda teriam possibilidades de crescimento.

De forma geral, observa-se que, nas economias em desenvolvimento, além da adoção tardia, leva-se muito mais tempo para capturar o máximo de novos adotantes por ano, chegando ao ponto de que, enquanto os países desenvolvidos já estão atingindo saturação, na maioria destas economias em desenvolvimento as tecnologias têm ainda bastante capacidade para crescer. Tomando-se isto por base, e, levando-se em conta que, estas duas tecnologias tendem a contribuir na difusão de



outras inovações, sabe-se que o problema do progresso tecnológico retardado, tende a se agravar para as economias em desenvolvimento, caso não sejam tomadas medidas cabíveis por parte de suas autoridades. A curva de consumo dos países em desenvolvimento corrobora ao parecer do relatório do *World Bank* (2008) de que, as novas tecnologias para estes países chegam como “lançamentos” após já terem atingido relativa maturidade nos desenvolvidos.

Em relação às estimativas do número final de adotantes, verificou-se que, nas economias em desenvolvimento há uma forte tendência para que ocorram médias muito próximas entre 1,5 e 2 linhas de telefone móvel por indivíduo, ao passo que, duas economias desenvolvidas, a saber, França e Canadá não chegarão a ter sequer uma linha de telefone móvel por habitante. O parâmetro ( $m$ ) na telefonia móvel dos países em desenvolvimento denota o previsto, dadas as condições de investimento em infraestrutura e ineficiência destas nações: níveis maiores de necessidade aumentam a quantidade de adotantes (VAN DER BOOR; OLIVEIRA; VELOSO, 2014; URBAN; VON HIPPEL, 1998).

As predições do modelo no tocante ao número final de adotantes ( $m$ ) demonstram o *gap* existente para acessar-se uma determinada tecnologia, em verdade, nas tecnologias em questão, fala-se implicitamente do acesso a informação. Nações como Brasil, China, Índia e Itália, atingiriam apenas pouco mais da metade de sua população com acesso a internet. A não disseminação desta tecnologia por completo em uma população acarretaria atraso tecnológico e menor crescimento, dadas as evidências de quem verificou a internet como aceleradora de outras inovações (PRINCE; SIMON, 2009).

Em relação às velocidades, observou-se claramente a não existência de um agrupamento padrão, que poderia ser formado pela relação entre os contextos econômicos e as velocidades. Constatou-se, nesta pesquisa, a existência de um paradoxo, visto que não é possível encontrar sustentação para afirmação de que, nações que adotam tardiamente estas tecnologias tendem a ter maiores velocidades, conforme apontou a revisão empírica, pelo menos não parece ser o caso destas duas tecnologias. Notoriamente, todos os países do BRICS apresentam-se como os países que, mais tardiamente, adotaram as tecnologias aqui objetos de investigação (vide dados empíricos de 1990 a 2005), e, no entanto, não aparecem exatamente como as cinco maiores velocidades.

Em linhas gerais, análises estruturadas do processo de difusão de inovações como a realizada nesta pesquisa podem auxiliar: i) os gestores de empresas a minimizarem equívocos em análises de cenários no que tange à estimativas de demandas por novos produtos e na formulação do planejamento estratégico; e ii) as firmas a potencializarem predições de dimensionamento de mercado.

Com relação às hipóteses formuladas, verificou-se que as hipóteses de números 2, 3 e 4 são confirmadas, ou seja, dos países analisados, os desenvolvidos tem mais adotantes inovadores e atingiram antes a inflexão. Sendo assim, a dinâmica da difusão revelou-se em formato “S”. No entanto, a hipótese de número 1 foi refutada, mediante a constatação de um paradoxo no que se refere à velocidade. Não se identificou aqui que os países de adoção tardia possuem as maiores velocidades de difusão.

Para pesquisas futuras, sugere-se uma investigação no sentido de esclarecer se para outros tipos de tecnologias, o comportamento da dinâmica da difusão segue aquele encontrado aqui e buscar as justificativas para as novas descobertas.

## 6. Bibliografia

- ABU, S. T. Technological innovations and 3G mobile phone diffusion: Lessons learned from Japan. **Telematics and Informatics**, v. 27, n. 4, p. 418-432, 2010.
- AHN, H.; LEE, M-H. An econometric analysis of the demand for access to mobile telephone networks. **Information Economics and Policy**, v. 11, n. 3, p. 297-305, 1999.
- AKER, J. C.; MBITI, I. M. Mobile phones and economic development in Africa. **Center for Global Development Working Paper**, n. 211, 2010.
- ANDRÉS, L. *et al.* The diffusion of the Internet: A cross-country analysis. **Telecommunications Policy**, v. 34, n. 5, p.323-340, 2010.

BAGCHI, K.; UDO, G.; KIRS, P. Global diffusion of the internet XII: the internet growth in Africa: some empirical results. **Communications of the Association for Information Systems**, v. 19, n. 1, p. 16, 2007.

BAGCHI, K.; KIRS, P.; LÓPEZ, F. The impact of price decreases on telephone and cell phone diffusion. **Information & Management**, v. 45, n. 3, p.183-193, 2008.

BASS, F. M.; KRISHNAN, T. V.; JAIN, D. C. Why the Bass model fits without decision variables. **Marketing science**, v. 13, n. 3, p. 203-223, 1994.

BASS, F. M. A New Product Growth for Model Consumer Durables. **Management Science**, v.15, p.215-227, 1969.

BAUER, J. M.; BERNE, M.; MAITLAND, C. F. Internet access in the European Union and in the United States. **Telematics and Informatics**, v. 19, n. 2, p. 117-137, 2002.

BEILOCK, R.; DIMITROVA, D.V. An exploratory model of inter-country Internet diffusion. **Telecommunications Policy**, v. 27, n. 3, p.237-252, 2003.

BOCQUET, R.; BROSSARD, O.; SABATIER, M. Complementarities in organizational design and the diffusion of information technologies: An empirical analysis. **Research Policy**, v. 36, n. 3, p. 367-386, 2007.

BRESNAHAN, T. F.; TRAJTENBERG, M. General purpose technologies ‘Engines of growth’?. **Journal of econometrics**, v. 65, n. 1, p.83-108, 1995.

CASSIOLATO, J. E. A economia do conhecimento e as novas políticas industriais e tecnológicas (cap.7). In: LASTRES, H. M.M.; ALBAGLI, S. (orgs). **Informação e globalização na era do conhecimento**. Rio de Janeiro: Campus, p. 164-190, 1999.

CHINN, M. D.; FAIRLIE, R. W. The determinants of the global digital divide: a cross-country analysis of computer and internet penetration. **Oxford Economic Papers**, n.59, p.16-44, 2006.

CORROCHER, N. The diffusion of Internet telephony among consumers and firms: current issues and future prospects. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 70, n. 6, p. 525-544, 2003.

CRENSHAW, E. M.; ROBISON, K. K. Globalization and the Digital Divide: The Roles of Structural Conduciveness and Global Connection in Internet Diffusion. **Social Science Quarterly**, v. 87, n. 1, p.190-207, 2006.

DAY, G. S.; SCHOEMAKER, P. J. H.; GUNTHER, R. E. **Wharton on managing emerging technologies**. John Wiley & Sons, 2004.

DEROÏAN, F. Formation of social networks and diffusion of innovations. **Research Policy**, v. 31, n. 5, p. 835-846, 2002.

DICKERSON, M. D.; GENTRY, J. W. Characteristics of adopters and non-adopters of home computers. **Journal of Consumer Research**, v. 10, p. 225-235. 1983.

FIGUEIREDO, J. C. B. Estudo da difusão da tecnologia móvel celular no Brasil: uma abordagem com o uso de Dinâmica de Sistemas. **Produção, São Paulo: USP**, v. 19, n. 1, p. 230-245, 2009.

FRANCO, N. B. **Cálculo Numérico**. Pearson Prentice Hall, 2006.

GALLIANO, D.; ROUX, P. The evolution of the spatial digital divide: From internet adoption to internet use by French industrial firms. **Cahierdu GRES**, n.25, 2005.

GEROSKI, P. A. Models of technology diffusion. **Research policy**, v. 29, n. 4, p. 603-625, 2000.

GODINHO, M. M. Inovação e Difusão da Inovação: Conceitos e Perspectivas Fundamentais. In: RODRIGUES, M. J.; NEVES, A.; GODINHO, M. M. **Para uma Política de Inovação em Portugal**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 2003.

GOLD, B. Productivity, technological change and international competitiveness. **Technovation**, v. 1, n. 3, p. 203-213, 1982.

GRAJEK, M. Estimating network effects and compatibility in mobiletelecommunications. **WZB markets and political economy working paper No. SP II**, v. 26, p. 07-001, 2003.

GRAJEK, M.; KRETSCHMER, T. Usage and diffusion of cellular telephony, 1998–2004. **International Journal of Industrial Organization**, v. 27, n. 2, p. 238-249, 2009.

GREENSTEIN, S.; PRINCE, J. **The Diffusion of the Internet and the Geography of the Digital Divide in the United States**. National Bureau of Economic Research: Cambridge, 2006.

GRUBER, H. Competition and innovation: The diffusion of mobile telecommunications in Central and Eastern Europe. **Information Economics and Policy**, v. 13, n. 1, p. 19-34, 2001.

GRUBER, H.; KOUTROUMPIS, P. Mobile communications: Diffusion facts and prospects. **Communications and Strategies**, n. 77, p. 133-145, 2010.

GRUBER, H.; KOUTROUMPIS, P. Mobile telecommunications and the impact on economic development. **Economic Policy**, v. 26, n. 67, p.387-426, 2011.

GRUBER, H.; VERBOVEN, F. The evolution of markets under entry and standards regulation—the case of global mobile telecommunications. **International Journal of Industrial Organization**, v. 19, n. 7, p.1189-1212, 2001a.

GRUBER, H.; VERBOVEN, F. The diffusion of mobile telecommunications services in the European Union. **European Economic Review**, v. 45, n. 3, p. 577-588, 2001b.

GRZYBOWSKI, L.; KARAMTI, C. Competition in mobile telephony in France and Germany. **The Manchester School**, v. 78, n. 6, p.702-724, 2010.

GUPTA, R.; JAIN, K. Diffusion of mobile telephony in India: An empirical study. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 4, p. 709-715, 2012.

HARGITTAI, E. Weaving the Western Web: Explaining differences in Internet connectivity among OECD countries. **Telecommunications policy**, v. 23, n. 10, p. 701-718, 1999.

ITU (2015). **International Telecommunication Union Indicators Database**. Disponível em: <<http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>>. Acesso em: 14 de ago. 2015.

KALBA, K. The adoption of mobile phones in emerging markets: Global diffusion and the rural challenge. **International journal of Communication**, v. 2, p.31, 2008.

KIISKI, S.; POHJOLA, M. Cross-country diffusion of the Internet. **Information Economics and Policy**, v. 14, n. 2, p.297-310, 2002.

KOSKI, H.; KRETSCHMER, T. Entry, standards and competition: Firm strategies and the diffusion of mobile telephony. **Review of Industrial Organization**, v. 26, n. 1, p.89-113, 2005.

KRISHNAN, T. V.; JAIN, D. C. Optimal dynamic advertising policy for new products. **Management Science**, v. 52, n. 12, p. 1957-1969, 2006.

KRISHNAN, T. V.; BASS, F. M.; JAIN, D. C. Optimal pricing strategy for new products. **Management Science**, v. 45, n. 12, p. 1650-1663, 1999.

LEE, S.; LEE, S. Early diffusion of smartphones in OECD and BRICS countries: An examination of the effects of platform competition and indirect network effects. **Telematics and Informatics**, v.31, n.3, p.345-355, 2014.

LEHMANN, D. R.; ESTEBAN-BRAVO, M.. When giving some away makes sense to jump-start the diffusion process. **Marketing Letters**, v. 17, n. 4, p. 243-254, 2006.

LIIKANEN, J; STONEMAN, P; TOIVANEN, O. Intergenerational effects in the diffusion of new technology: the case of mobile phones. **International Journal of Industrial Organization**, v. 22, n. 8, p. 1137-1154, 2004.

LIU, Y.; LI, H. Mobile internet diffusion in China: an empirical study. **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, n. 3, p. 309-324, 2010.

MANGANO, S. **Mathematica Cookbook**. "O'Reilly Media, Inc.", 2010.

MANSELL, R; WEHN, U. **Knowledge societies: information technology for sustainable development**. New York : Oxford University Press, 1998.

MILNER, H. V. The global spread of the Internet: The role of international diffusion pressures in technology adoption. In: **2nd Conference on Interdependence, Diffusion, and Sovereignty, UCLA, California**. 2003.

MUNIZ, S. Investimento Recente, Capacitação Tecnológica e Competitividade. **São Paulo em Perspectiva**, v.14, n.3, 2000.

PHUC, P. N. K.; VINCENT, F. Y.; CHOU, S-Y. Manufacturing production plan optimization in three-stage supply chains under Bass model market effects. **Computers & Industrial Engineering**, v. 65, n. 3, p. 509-516, 2013.

PORATH, D.; SCHAEFER, C. Applying the Bass model to pharmaceuticals in emerging markets. **International Journal of Market Research**, v. 56, n. 4, p. 513-530, 2014.

POSSAS, S. (2006). Concorrência e Inovação. In: Pelaez, V.; Szmrecsányi, T. (org.). **Economia da Inovação Tecnológica**. Editora Hucitec, São Paulo.

PRINCE, J. T.; SIMON, D. H. Has the Internet accelerated the diffusion of new products?. **Research Policy**, v. 38, n. 8, p. 1269-1277, 2009.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 5th ed. New York: Free Press, 2003.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. New York: Free Press, 1962.

RÖLLER, L-H.; WAVERMAN, L. Telecommunications infrastructure and economic development: A simultaneous approach. **American economic review**, p.909-923, 2001.

SÁNCHEZ, J. I. L. *et al.* Is the internet productive? A firm-level analysis. **Technovation**, v. 26, n. 7, p. 821-826, 2006.

SCHUMPETER, J. A. (1912). **A Teoria do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SCHUMPETER, J. A. (1942) **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961 (para a tradução brasileira).

SINGH, S. K. The diffusion of mobile phones in India. **Telecommunications Policy**, v. 32, n. 9, p. 642-651, 2008.

TAN, Z.; CLARK, T. H. K. Internet diffusion in the USA and China. **Info**, v. 2, n. 6, p. 595-604, 2000.

TIGRE, P. B. Agenda de pesquisas e indicadores para estudos de difusão de tecnologias da informação e comunicação. **Texto para discussão. IPEA**, Brasília, n.920, p. 1-27, 2002.

TURK, Tomaz; TRKMAN, Peter. Bass model estimates for broadband diffusion in European countries. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 1, p. 85-96, 2012.

VAN DER BOOR, P.; OLIVEIRA, P.; VELOSO, F. Users as innovators in developing countries: The global sources of innovation and diffusion in mobile banking services. **Research Policy**, v. 43, n. 9, p. 1594-1607, 2014.

WAVERMAN, L.; MESCHI, M.; FUSS, M. The impact of telecoms on economic growth in developing countries. **The Vodafone policy paper series**, v. 2, n. 03, p.10-24, 2005.

**WORLD BANK**. 2008. **Global economic prospects 2008**: technology diffusion in the developing world. Global Economic Prospects and the Developing Countries (GEP). Washington, DC : World Bank Group. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/2008/01/9013126/global-economic-prospects-technology-diffusion-developing-world-2008>>. Acesso em: 14 de ago. 2015.

**WORLD BANK**. **GDP PER CAPITA**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD>>. Acesso em: 03 de dez. 2015.

WUNNAVA, P. V.; LEITER, D. B. Determinants of intercountry Internet diffusion rates. **American Journal of Economics and Sociology**, v. 68, n. 2, p. 413-426, 2009.