



ANÁLISE DA DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC) NOS PAÍSES DO G7

Janaina Ruffoni

Professora no Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE)
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) jruffoni@unisin.br

Adriano Cristian Gewehr

Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Economia/ UNISINOS tenoacg@yahoo.com.br

Alexsandro Marian Carvalho

Professor do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) / UNISINOS - alexsandromc@unisin.br

RESUMO

As tecnologias da informação e comunicação (TIC) revolucionaram as estruturas de negócios das firmas e das indústrias a partir da década de 1970. Para além do processo de geração dessas inovações, ganha relevância o processo de difusão dessas tecnologias em diferentes países. Na literatura atual é possível identificar esforços de pesquisa concentrados, basicamente, na identificação de elementos determinantes da difusão (a partir de modelagem econométrica). Em menos volume são os estudos a cerca das características do processo de difusão em si, como, por exemplo, velocidade e número de adotantes. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica do processo de difusão das TIC (internet e telefonia móvel) no grupo de países desenvolvidos que formam o 'G7'. Para tanto, foi aplicado o modelo matemático de Bass (1969) em dados empíricos de consumo das TIC mencionadas no período de 1990 a 2014. Os principais resultados apontam que: i) países com maiores rendas per capita não são os que apresentam as maiores velocidades de difusão para a tecnologia da internet; ii) há comportamentos distintos dos países no que se refere aos pontos de inflexão no processo de difusão da internet e telefonia móvel; e iii) todos os países investigados já estão muito próximos do estado assintótico, ou seja, de saturação do crescimento do consumo destas tecnologias. Conforme observa-se na literatura, há o entendimento que as TIC aceleram a adoção e difusão de outras tecnologias e geram externalidades positivas para a produtividade, então, os achados indicam que as características que assumem o mecanismo da difusão de novas tecnologias em economias desenvolvidas contribuem para explicar e retroalimentar um progresso tecnológico relativamente mais avançado nestes países.

Palavras-chave: Difusão da Inovação. Tecnologias de Informação e Comunicação. Progresso Tecnológico. Economias Desenvolvidas.

ABSTRACT

Information and communication technologies (ICTs) have revolutionized the business structures of firms and industries since the 1970s. In addition to the process of generating these innovations, the process of diffusion of these technologies in different countries becomes relevant. In the current literature, it is possible to identify research efforts concentrated, basically, on the identification of elements that determine the diffusion (from econometric modeling). In less volume are the studies about the characteristics of the diffusion process itself, such as speed and number of adopters. Therefore, the objective of this study is to analyze the dynamics of the diffusion process of ICT (internet and mobile telephony) in the group of developed countries that form the 'G7'. For this, the mathematical model of Bass (1969) was applied in empirical data on consumption of ICTs mentioned in the period 1990 to 2014. The main results pointed to i) countries with higher per capita incomes are not those with the highest speeds dissemination to internet technology; ii) there are different behaviors of countries regarding inflection points in the internet and mobile telephony diffusion process; and iii) all the countries investigated are already very close to the asymptotic state, that is, saturation of the consumption growth of these technologies. As it is observed in the literature, it is understood that ICT accelerates the adoption and diffusion of other technologies and generates positive externalities for productivity. So, the findings indicate that the characteristics that assume the mechanism of the spread of new technologies in developed economies contribute to explain and feedback a relatively more advanced technological progress in these countries.

Key-Words: Diffusion of Innovation. Information and Communication Technologies. Technological Progress. Developed Economies.

Área ABEIN: 5.5 Mudanças técnicas, organizações e instituições.

JEL Code: O31 -O33 – C6



ANÁLISE DA DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC) NOS PAÍSES DO G7

RESUMO

As tecnologias da informação e comunicação (TIC) revolucionaram as estruturas de negócios das firmas e das indústrias a partir da década de 1970. Para além do processo de geração dessas inovações, ganha relevância o processo de difusão dessas tecnologias em diferentes países. Na literatura atual é possível identificar esforços de pesquisa concentrados basicamente na identificação de elementos determinantes da difusão (a partir de modelos econométricos). Em menor volume são os estudos acerca das características do processo de difusão em si, como, por exemplo, velocidade e número de adotantes. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a dinâmica do processo de difusão das TIC (internet e telefonia móvel) no grupo de países desenvolvidos que formam o 'G7'. Para tanto, foi aplicado o modelo matemático de Bass (1969) em dados empíricos de consumo das TIC mencionadas no período de 1990 a 2014. Os principais resultados apontam que: i) países com maiores rendas per capita não são os que apresentam as maiores velocidades de difusão para a tecnologia da internet; ii) há comportamentos distintos dos países no que se refere aos pontos de inflexão no processo de difusão da internet e telefonia móvel; e iii) todos os países investigados já estão muito próximos do estado assintótico, ou seja, de saturação do crescimento do consumo destas tecnologias. Conforme observa-se na literatura, há o entendimento que as TIC aceleram a adoção e difusão de outras tecnologias e geram externalidades positivas para a produtividade, então, os achados indicam que as características que assumem o mecanismo da difusão de novas tecnologias em economias desenvolvidas contribuem para explicar e retroalimentar um progresso tecnológico relativamente mais avançado nestes países.

INTRODUÇÃO

A competitividade das firmas foi modificada pela internet e pela telefonia móvel, pois os meios para se transacionar produtos e informações, bem como os custos das indústrias, foram impactados quando da introdução destas inovações. Reduziram-se os custos de comunicação e processamento de informações, fazendo com que estas inovações se tornassem relevantes para muitos setores da economia (GRUBER; KOUTROUMPIS, 2011; GALLIANO; ROUX, 2005; BRESNAHAN; TRAJTENBERG, 1995).

Muitos estudos exploraram a identificação dos elementos determinantes da difusão destas tecnologias. No entanto, a exploração dos determinantes pouco revela analiticamente a respeito da dinâmica do processo de difusão. Desta maneira, o problema aqui proposto é: qual é a dinâmica do processo de difusão da tecnologia da internet e da telefonia móvel nos países desenvolvidos que formam o G7¹? O objetivo deste artigo é compreender a dinâmica do processo de difusão das tecnologias da internet e da telefonia móvel de países desenvolvidos, tomando como amostra os países do G7. Para tanto, adotou-se o seguinte desdobramento hierárquico deste objetivo: 1) estimar os parâmetros de grupos de consumidores que são adotantes inovadores e adotantes imitadores, e o estado assintótico² de cada tecnologia para cada país do G7; 2) analisar a precisão do modelo matemático de Bass (1969), para o ajuste da curva de difusão destas tecnologias, comparando os dados empíricos de consumo à curva ajustada do modelo; 3) examinar a velocidade³ de difusão destas tecnologias; 4) projetar a capacidade de crescimento destas tecnologias bem como estimar os pontos de inflexão; e, por fim 5) analisar como os resultados encontrados contribuem para a compreensão do progresso tecnológico das nações desenvolvidas.

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

² Ponto de saturação.

³ Relação entre o tempo e a quantidade de adotantes.

Os países desenvolvidos e mais industrializados, devido aos seus níveis de investimento em educação, ciência, tecnologia e inovação, tendem a ter uma força de trabalho mais formalmente qualificada, o que, por sua vez, estabelece as bases para maiores velocidades na difusão de tecnologias, reduzindo os custos de treinamento e acelerando a mudança tecnológica (CRENSHAW, ROBISON, 2006). Segundo Mahajan, Muller e Bass (1990), novos produtos impactam a vida dos indivíduos e a economia de uma sociedade, e, as TIC aceleram o processo de socialização de novos produtos (PRINCE; SIMON, 2009; *WORLD BANK*, 2008). Conforme Madden e Savage (2000) estas tecnologias impactam positivamente o desenvolvimento e o crescimento econômico de um país.

Ciente da influência das tecnologias aqui estudadas na sociedade e na economia, supõe-se que uma análise da difusão destas no nível de desdobramento proposto pode contribuir para entender alguns mecanismos do progresso tecnológico. Compreender o processo de difusão da inovação se torna necessário “[...] para a definição de políticas que pretendam influenciar de modo eficaz o perfil tecnológico da economia” (GODINHO, 2003, p.14). Quanto mais amplo o entendimento sobre a dinâmica da difusão das tecnologias da informação e comunicação em um contexto econômico, mais os países e *policy makers* poderão estar habilitados a desenvolver políticas que promovam a difusão de inovações.

A próxima seção conduz a uma interação entre a teoria da difusão da inovação e a empiria, lançando alguns registros que demonstram a importância deste tipo de análise. Posteriormente, apresenta-se o modelo utilizado para analisar a dinâmica da difusão da telefonia móvel e da internet nos países do G7. Na sequência, são apresentadas a análise e a discussão dos resultados. Por fim, são feitas as conclusões.

2. DIFUSÃO DA INOVAÇÃO

A difusão de uma inovação é o “[...] 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). Sem processo de difusão, a inovação não gera impacto econômico (MANUAL DE OSLO, 1998). É a difusão que permite transformar uma inovação, de um acontecimento isolado no tempo e no espaço, em um fenômeno significativo para o sistema econômico (PULKKI-BRÄNNSTRÖM; STONEMAN, 2013; GODINHO, 2003).

Inovações geram desequilíbrios no sistema, fenômeno fundamental do desenvolvimento econômico na visão de Schumpeter (1912), ao passo que a difusão (propagação) gera um efeito estabilizador, repondo as condições da concorrência em níveis aproximados aos do período anterior a sua introdução (GODINHO, 2003). Ou seja, por meio da reposição de níveis concorrenciais na indústria, observa-se o processo de difusão como condutor do progresso técnico.

Diversos modelos destinados a entender a dinâmica e os efeitos da difusão surgiram ao longo dos anos, e suas contribuições remetem às seguintes aplicabilidades: i) previsão de demanda de produtos para planejamento de capacidade; ii) estimativas de pontos de saturação e declínio do novo produto; iii) auxílio em decisões táticas, como precificação e investimento em propaganda; iv) decisão de entrada ou saída em um mercado (CORROCHER; ZIRULIA, 2010); v) análise da curva do ciclo de vida do produto (MAHAJAN; MULLER, 1979); vi) definição do momento de substituição de linhas de produtos por novas gerações (NORTON; BASS, 1987).

2.1. O PARADIGMA TÉCNICO-ECONÔMICO DAS TIC

As TIC trouxeram consigo impactos para a economia: i) aumento de produtividade (SÁNCHEZ *et al*, 2006); ii) redução dos custos de transação (devido à internet, por exemplo, que facilitou o acesso a informações relativas à oferta, gerando bloqueios a certas formas de discriminação de preços) (BOCQUET; BROSSARDT; SABATIER, 2007). Estas tecnologias expandem as possibilidades de 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.

Com a rápida difusão da telefonia móvel e da internet ocorreram efeitos socioeconômicos, dos quais se destacam três: 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). Estes efeitos são diretamente ligados a emergência da remodelagem dos negócios (principalmente em serviços, tais como *e-commerce* e *e-banking*).

Ao passo que as TIC se apresentam benefícios com àqueles que têm a capacidade de absorvê-las e usá-las, podem, por outro lado, marginalizar aqueles sem acesso, ou sem capacidade de apropriação delas. Entende-se, assim, que os argumentos expostos são motivos para se buscar um melhor entendimento a respeito da dinâmica do processo de difusão, seguindo os modelos de Rogers (1962) e de Bass (1969).

2.2 ESTUDOS SOBRE A DIFUSÃO DA TELEFONIA MÓVEL E DA INTERNET

A telefonia móvel auxiliou as empresas a gerenciarem suas cadeias de suprimentos de forma mais eficaz e agilizarem processos de produção e de vendas, permitindo a elas, aceleração dos *outputs* (GRUBER; KOUTROUMPIS, 2011; RÖLLER; WAVERMAN, 2001).

Pesquisas demonstraram que a difusão de telecomunicações móveis afeta significativamente tanto o crescimento do PIB como o crescimento da produtividade. A seguir é exibido o Quadro 1, o qual sumariza a revisão empírica realizada sobre a difusão da telefonia móvel, expondo as principais pesquisas e seus resultados.

Quadro 1 – Pesquisas sobre a difusão da Telefonia Móvel

OBJETIVOS	AUTORES REVISADOS	PRINCIPAIS RESULTADOS
Avaliar impactos na economia	WAVERMAN; MESCHI; FUSS, 2005. AKER; MBITI, 2010. GRUBER; KOUTROUMPIS, 2011.	Impacto positivo no crescimento da produtividade e do produto interno bruto (PIB).
Identificar variáveis determinantes da difusão	AHN; LEE, 1999 GRUBER; VERBOVEN, 2001b. GRUBER, 2001. GRAJEK, 2003. LIIKANEN; STONEMAN; TOIVANEN, 2004. KOSKI; KRETSCHMER, 2005. DOGANOGLU; GRZYBOWSKI, 2007. KALBA, 2008. BAGCHI; KIRS; LÓPEZ, 2008. GRAJEK; KRETSCHMER 2009. Gruber; Koutroumpis, 2010. GRZYBOWSKI; KARAMTI, 2010. ABU, 2010. GUPTA; JAIN, 2012. LEE; LEE, 2014.	Maior velocidade de difusão nos países que adotaram tardiamente; Concorrência como um dos principais fatores explicativos para a difusão; Telefone móvel é um bem substituto à linha fixa nos países em desenvolvimento e complementar na maioria dos desenvolvidos; Competição entre sistemas e padrões influencia positivamente; Gerações anteriores influenciam positivamente as novas (presença de efeitos de rede); Preço, governo e demografia exercem influência sobre a difusão.
Descrever o processo de difusão	SINGH, 2008. FIGUEIREDO, 2009.	Telefonia móvel atingiria sua saturação no Brasil por volta do ano de 2013; Projetou a quantidade da população da Índia que teria telefone móvel em diversos anos e estimou receitas das operadoras e tributos ao governo.

Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se com considerável frequência no Quadro 1 o fator ‘concorrência’ como principal variável explicativa ao processo de difusão desta tecnologia (LEE; LEE, 2014; GUPTA; JAIN, 2012; GRUBER; KOUTROUMPIS, 2010; KOSKI; KRETSCHMER, 2005; GRUBER; VERBOVEN, 2001b; GEROSKI, 2000).

A internet impulsiona a demanda por inovações no início do processo de difusão, devido ao acesso à informação e a conveniência de transações *on-line* (PRINCE; SIMON, 2009). Com o advento desta tecnologia, surge o comércio eletrônico, que elevou a excelência na gestão por meio de melhores opções de compras, controle dos estoques e custos inferiores nas operações de vendas, achatando intermediações (LITAN; RIVLIN, 2001; COPPEL, 2000). Em suma, comparado aos meios tradicionais de negócios, o comércio eletrônico: i) permite que as empresas diluam seus custos fixos, e; ii) exige níveis inferiores de investimento como proporção da receita para ampliação dos negócios.

A internet oferece suporte a economias de escala, pois permite que as atividades com retornos decrescentes possam ser substituídas por aquelas que têm retornos crescentes. A informação é cara para se produzir, mas o custo para reproduzir é baixo, ou seja, o custo total da informação recai no custo da primeira cópia (TIGRE, 2003). Ela ainda facilita economias de escopo. O Quadro 2 apresenta a revisão empírica realizada no tocante à difusão da internet.

Quadro 2 – Pesquisas a respeito da difusão da internet

OBJETIVOS	AUTORES REVISADOS	PRINCIPAIS RESULTADOS
Identificar variáveis determinantes para difusão	HARGITTAI, 1999. TAN; CLARK, 2000. KIISKI; POHJOLA, 2002. BAUER; BERNE; MAITLAND, 2002 BEILLOCK; DIMITROVA, 2003. MILNER, 2003. CORROCHER, 2003. CRENSHAW; ROBISON, 2006. CHINN; FAIRLIE; 2006. BAGCHI; UDO; KIRS, 2007. WUNNAVA; LEITER, 2009. ANDRÉS, <i>et al</i> , 2010. LIU; LI, 2010.	Maior velocidade de difusão nos países que adotaram tardiamente; A renda per capita é o principal determinante para difusão da internet; A difusão é caracterizada por curva em forma de S, diferente em cada país; Regulamentação influencia na dinâmica do processo de difusão; Nível de escolaridade e domínio da língua inglesa afeta positivamente a difusão.

Fonte: elaborado pelos autores

A renda per capita é um dos principais determinantes para a difusão da internet, uma vez que: i) aparece como variável explicativa com certa frequência em diversos estudos; ii) aparece como principal variável explicativa em pesquisas que contemplam simultaneamente amostra de países com distintos contextos econômicos (CHINN; FAIRLIE; 2006; BEILLOCK; DIMITROVA, 2003).

Pela revisão empírica, surgem duas hipóteses a serem averiguadas: i) e nos países desenvolvidos a telefonia móvel é complementar à linha fixa, prevê-se um baixo número de linhas móveis; ii) quanto maior a renda per capita maior a velocidade de difusão da internet.

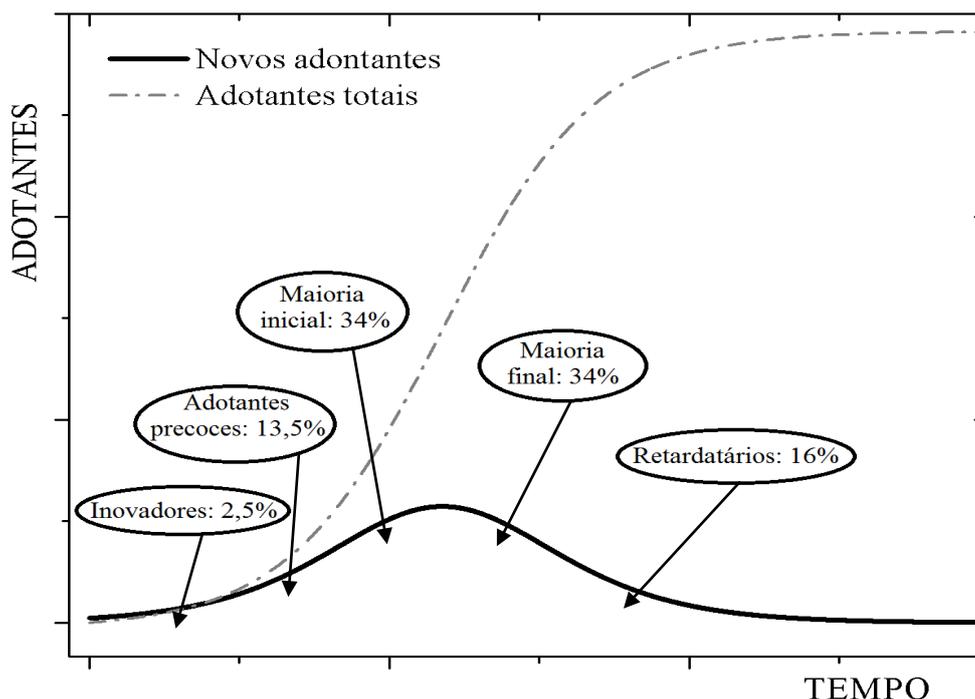
Destaca-se que notadamente os esforços dos estudos sobre a difusão da telefonia móvel e da internet destinam-se a: i) identificação dos determinantes que influenciam sua adoção (maior incidência); ii) avaliação dos impactos na economia. Assim sendo, infere-se que poucos são os esforços destinados a compreender o processo de difusão, investigando-se por meio de modelos matemáticos o comportamento e o crescimento. Fato que reforça e motiva a procura por um entendimento mais claro sobre a dinâmica do processo de difusão de tais tecnologias que interferem consideravelmente no contexto econômico e social. A baixa incidência de pesquisas com objetivo congênere ao desta, confere maior relevância a esta pesquisa.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. MODELO MATEMÁTICO

Segundo Rogers (1962), há um comportamento padrão na difusão das inovações em sistemas sociais. Esse autor propõe 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 – Difusão de uma nova tecnologia segundo Rogers (1962)



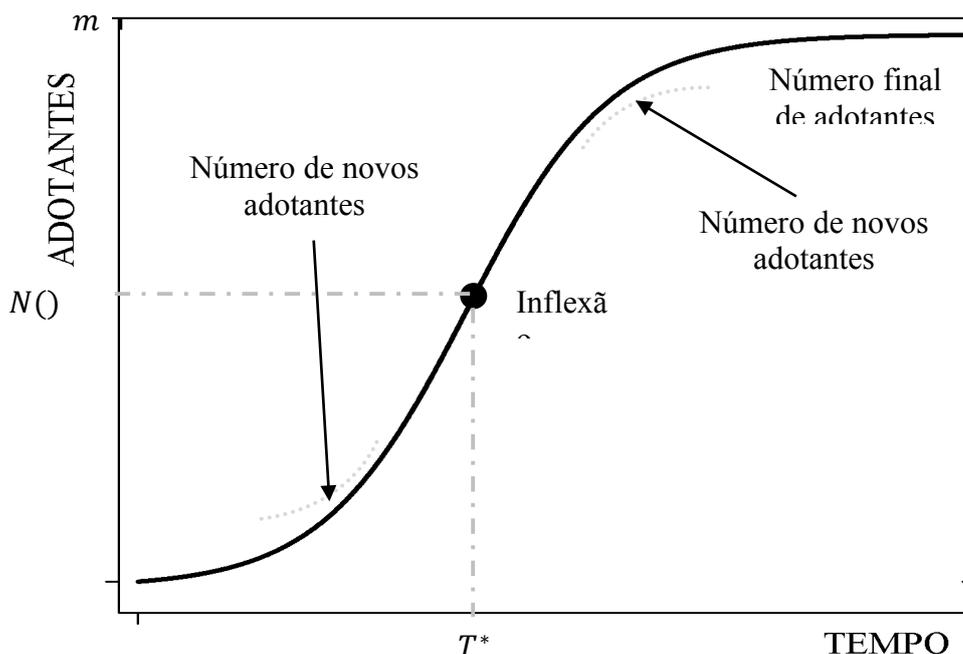
Fonte: elaborado pelos autores com base na obra de Rogers (1962)

Para Rogers (1962), a difusão de uma inovação, tem caráter universal, não vinculada pelo tipo da inovação estudada, mas por quem são os potenciais adotantes, pelo local e/ou cultura. Por isso propõem a divisão dos adotantes na população observada na Figura 1, e uma inovação só pode assim ser considerada, caso sua difusão perfaça este comportamento, formas de “sino” para novos adotantes e de “S” para os adotantes.

Somando o número de novos adotantes 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 inflexão⁴ em T^* (ver Figura 2). 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 à 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, conforme exibido na Figura 2.

⁴Mudança de taxa: o incremento (no caso, os adotantes da inovação) passa de crescente para decrescente.

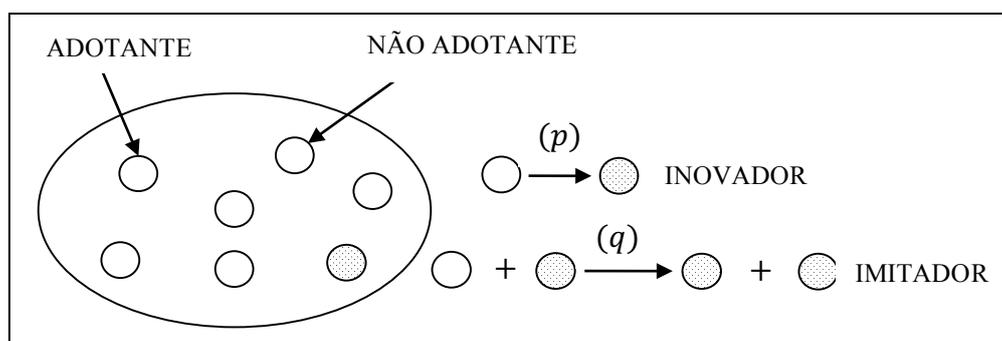
Figura 2 – Formato S do crescimento de uma inovação



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

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)⁵ 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 inovação (p), os inovadores; ii) taxa de imitação (q), os imitadores. Sintetiza-se esta dinâmica abaixo na Figura 3.

Figura 3 – Dinâmica da adoção de uma nova tecnologia



Fonte: elaborado pelos autores

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 denominado contato “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:

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

⁵ Indivíduos que ainda não adotaram e podem ser novos adotantes.

na qual se reitera que: 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 à 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 3.

Quadro3 – Equações para dinâmica do processo de difusão segundo Bass (1969)

EQUAÇÃO	FINALIDADE
(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 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.

Apesar do tempo de existência do modelo, sua utilização e propriedades matemáticas, não estão invalidadas. A prova disto é que diversas pesquisas na atualidade além de revalidá-lo (KRISHNAN; JAIN 2006; LEHMANN; ESTEBAN-BRAVO 2006; KRISHNAN; BASS; JAIN 1999; BASS; KRISHNAN; JAIN 1994), utilizam-se dele para prever a demanda por novos produtos, apurar estado assintótico de uma tecnologia específica, e até mesmo para definir o dimensionamento fabril e otimização de inventários (PORATH; SCHAEFER, 2014; CHOU; VINCENT; PHUC, 2013; TURK; TRKMAN, 2012). O modelo de Bass (1969) é bastante utilizado, contando com aproximadamente 7.000 citações até o momento da elaboração deste estudo.

3.2. AJUSTE DE CURVAS E LINEARIZAÇÃO

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 quadrados⁶. 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:

⁶Técnica 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).

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

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.

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

3.3. BASE DE DADOS

A base de dados referente ao consumo⁷ de telefonia móvel e de internet nos países analisados foi extraída da ITU⁸ (*International Telecommunication Union*). A relevância desta base pode ser conferida em diversas pesquisas da temática, sendo muitas no campo da 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).

A série temporal compreende o intervalo de 1990 a 2014. Nota-se que o recorte é adequado, 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.

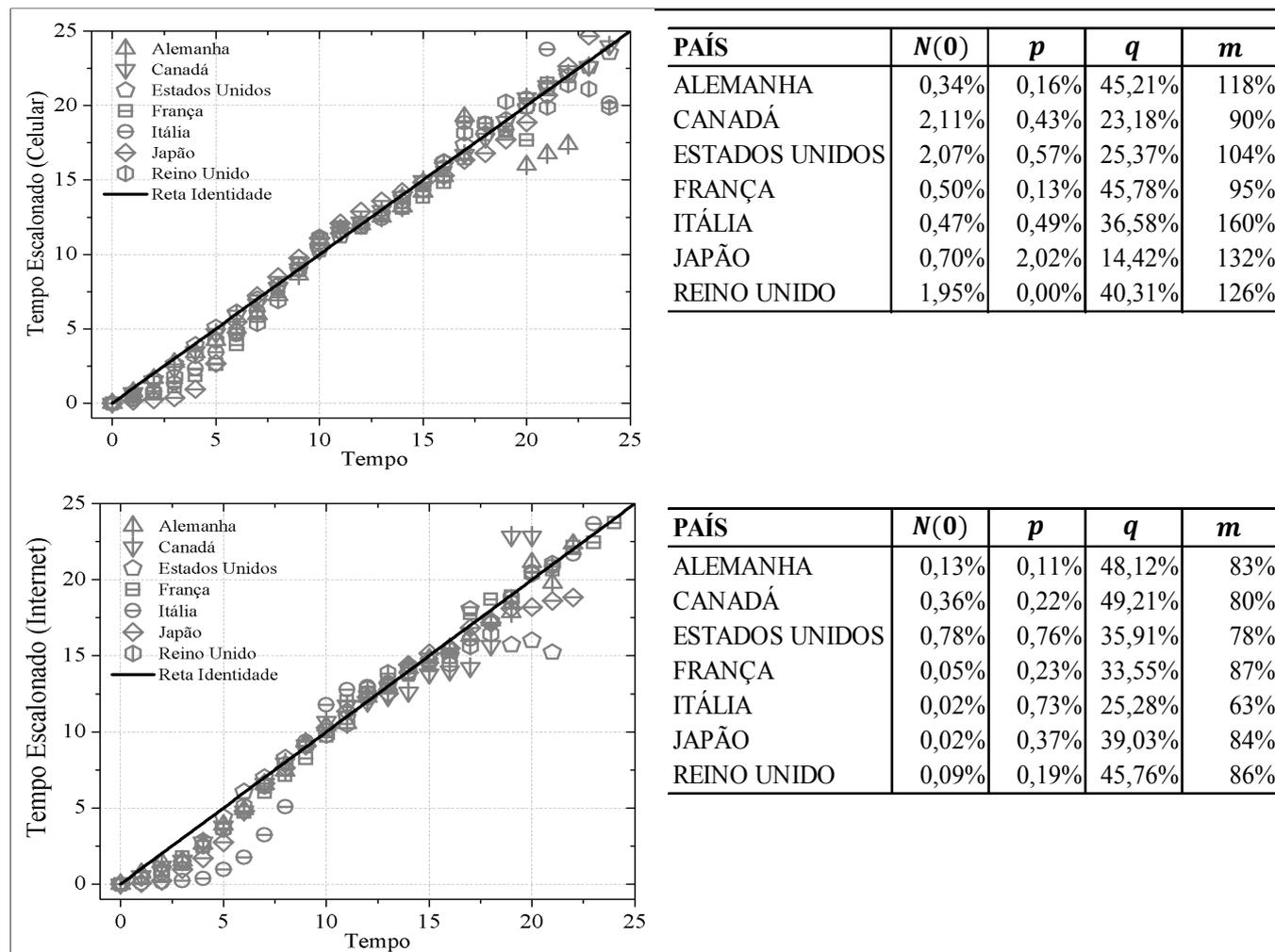
4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A Figura 4 exibe da esquerda para direita os testes de linearização e os parâmetros encontrados para cada país. O primeiro horizonte compreende a tecnologia da telefonia móvel e o segundo a internet.

⁷ Está disponível em percentual da população e em números absolutos na ITU

⁸ <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>

Figura 4 – Linearização e parâmetros do modelo



Fonte: elaborado pelo autor

No que tange à tecnologia da telefonia móvel, o Japão e os Estados Unidos possuem os maiores parâmetros de inovadores na população, ao passo que, a França e a Alemanha possuem a maior população de agentes imitadores. As nações que lograrão maior êxito na disseminação destas tecnologias serão a Itália e o Japão, visto que atingirão em torno de 1,5 linhas de telefone móvel por habitante.

No que tange à tecnologia da internet, os Estados Unidos e a Itália possuem os maiores parâmetros de inovadores na população, enquanto o Canadá e a Alemanha possuem a maior população de agentes imitadores. Observa-se que mesmo sendo nações desenvolvidas, estas não atingirão a plenitude da população com acesso internet (em torno de 80% a 90% da população). Haverá um resíduo na população marginalizado em relação a esta tecnologia. Destaca-se que a Itália terá apenas pouco mais da metade de sua população com acesso a internet, um índice baixo. Percebe-se notadamente que, o modelo é eficaz para descrever o processo de difusão destas duas tecnologias.

4.1. DADOS EMPÍRICOS E O MODELO

Para mensurar a qualidade da curva ajustada frente aos dados empíricos, definiu-se o erro médio $\langle N_E \rangle$ ⁹ e o desvio padrão σ_{N_E} por meio das seguintes equações respectivamente:

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

⁹ 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)

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

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	$\langle N_E \rangle$	σ_{N_E}
ESTADOS UNIDOS	0,674%	0,598%
CANADÁ	0,744%	0,563%
REINO UNIDO	3,191%	3,766%
FRANÇA	3,420%	2,487%
JAPÃO	4,447%	2,856%
ITÁLIA	4,529%	3,601%
ALEMANHA	5,106%	4,047%

Fonte: elaborado pelos autores

Destaca-se que o erro médio é baixo. Nos Estados Unidos e no Canadá a curva ajustada do modelo não difere mais que 1% dos dados empíricos na média. 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.

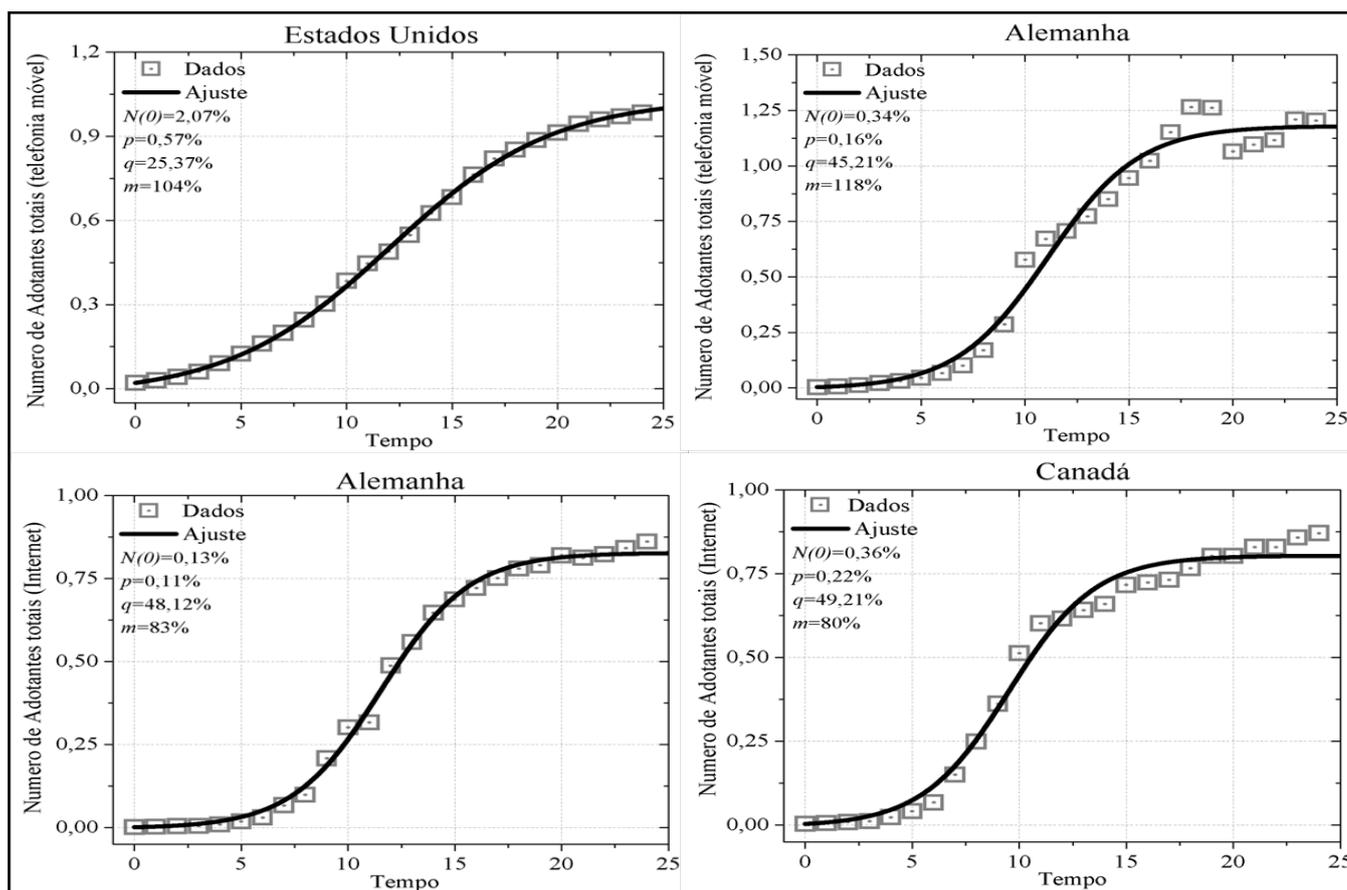
Tabela 2 – Erro e desvio padrão da curva ajustada em relação aos dados empíricos para tecnologia da Internet

PAÍS	$\langle N_E \rangle$	σ_{N_E}
ALEMANHA	1,559%	1,178%
FRANÇA	2,074%	2,026%
JAPÃO	2,384%	1,641%
ESTADOS UNIDOS	2,404%	2,477%
REINO UNIDO	2,516%	2,582%
ITÁLIA	2,599%	2,133%
CANADÁ	3,040%	2,247%

Fonte: elaborado pelo sautores

Como pode se observar, o modelo tem baixos índices de erro nesta tecnologia. Na Alemanha a curva ajustada distancia-se apenas 1,6% em média dos dados empíricos de consumo, e no Canadá onde o modelo mais erra, este é de apenas 3%. Com uma amplitude de erro de apenas 4,43% para tecnologia da telefonia móvel e apenas 1,48% para internet, dispensa-se a apresentação de todos os quatorze (7 países x 2 tecnologias) gráficos das curvas “S” da dinâmica da difusão. Desta maneira, a seguir o painel denominado figura 5 apresenta os gráficos da curva ajustada pelo modelo x dados empíricos: da esquerda para direita o menor e o maior erro respectivamente. O primeiro horizonte compreende a telefonia móvel, e o segundo a internet.

Figura 5 – Ajuste do modelo x dados empíricos



Fonte: Elaborado pelos autores

Como se pode observar: a difusão destas tecnologias nos países desenvolvidos segue o formato “S” ao longo do tempo (ROGERS, 1962). Evidencia-se desde os erros médios e desvios padrão mensurados e apresentados anteriormente, complementando-se agora com a análise gráfica, que o modelo de Bass (1969), aproxima-se satisfatoriamente aos dados empíricos para estes tipos de tecnologias. Adicionalmente, se ajusta melhor aos dados da internet.

4.2. SOBRE AS VELOCIDADES

A velocidade da difusão de uma inovação está diretamente relacionada à taxa de adoção, isto é, a variação no número de adotantes no período de um ano (adotantes marginais) na série temporal tomada como amostra na pesquisa. Conforme Tigre (2002) é de fundamental importância avaliar a velocidade 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:

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

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 ; Δt é o passo de tempo (em particular, $\Delta t = 1$ ano). Então, percebe-se 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:

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

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

em que $T = 25$ anos, corresponde ao tempo de observação da série. A seguir, a Tabela 3 ordena as maiores velocidades médias de acordo com a proposição supracitada, para a tecnologia da telefonia móvel:

Tabela 3 - Velocidade de difusão da tecnologia da telefonia móvel

PAÍS	v	σ_{NE}
ITÁLIA	5,28%	8,05%
JAPÃO	4,71%	2,92%
REINO UNIDO	4,60%	6,65%
FRANÇA	4,25%	4,53%
ESTADOS UNIDOS	3,88%	2,19%
CANADÁ	3,52%	1,90%
ALEMANHA	2,46%	13,03%

Fonte: elaborado pelos autores

Tigre (2002) propõe que há relativa variabilidade nas taxas de adoção, leiam-se, velocidades em que uma nova tecnologia é adotada por membros de um sistema social, dependendo dopaís, setor e 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 3 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. 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 4 a seguir, ordena as nações de acordo com as maiores velocidades médias para tecnologia da internet.

Tabela 4 - Velocidade de difusão da tecnologia da internet

PAÍS	v	σ_{NE}
FRANÇA	3,80%	4,25%
ESTADOS UNIDOS	3,64%	3,27%
REINO UNIDO	3,51%	4,64%
ALEMANHA	3,40%	3,87%
CANADÁ	2,95%	4,65%
ITÁLIA	2,62%	2,51%
JAPÃO	1,28%	11,00%

Fonte: Elaborado pelos autores

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 - 8,05% / ano. Do mesmo modo, o Japão com a menor velocidade média, a saber, 1,28% / ano, têm as velocidades instantâneas limitadas por um intervalo de 0% / ano – 12,28% / ano.

4.3. ESTIMATIVAS: INFLEXÃO E CAPACIDADE DE CRESCIMENTO

Nesta seção, estão dispostas as projeções para capacidade de crescimento destas tecnologias em cada país, e estimativas para os pontos de inflexão. Relewa recordar 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 5 e 6 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 esta pesquisa fora executada durante o ano de 2015, obviamente, então, não dispondo ainda de dados para este ano.

Tabela 5 – Projeções para tecnologia da telefonia móvel

PAÍS	T*	ESTIMATIVA DA DINÂMICA DO CRESCIMENTO						
		% ADOTANTES	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ALEMANHA	11 anos e 2 meses	-2,01%						
CANADÁ	13 anos e 4 meses	8,45%	84,3%	85,4%	86,3%	87,0%	87,5%	88,0%
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%						
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%

Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se que, esta tecnologia levou aproximadamente 11 anos para atingir a inflexão (mudar as taxas de crescentes para decrescentes). Destaca-se que, o país que mais rapidamente atingiu a inflexão foi o Reino Unido, no ano de 2000, ao passo que o Canadá atingiu em 2003. Na tabela acima é possível evidenciar que, dois países, a saber, Alemanha e França 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 países citados estimou-se para as demais nações um acréscimo no número de adotantes. É possível observar que para a telefonia móvel há pouco espaço ainda para crescer nestas nações, em geral menos de 10% da população atual de adotantes existentes. A seguir apresentam-se as projeções para a tecnologia da internet.

Tabela 6 - Projeções para tecnologia da internet

PAÍS	T*	ESTIMATIVA DA DINÂMICA DO CRESCIMENTO						
		% ADOTANTES	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ALEMANHA	11 anos e 7 meses	-3,70%						
CANADÁ	9 anos e 7 meses	-8,17%						
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%
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%						

Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se que, a tecnologia da internet levou aproximadamente 12 anos para atingir a inflexão. Canadá e Estados Unidos seriam os países que mais rapidamente teriam atingido a inflexão, no ano 2000, ao passo que a França teria atingido em 2005. Na tabela acima é possível evidenciar que, praticamente quase todas as economias desenvolvidas, possuem valores para a população de adotantes superiores ao valor final previsto pelo modelo. Nestas nações, espera-se um decréscimo no número de adotantes. Para a França e a Itália estimou-se um acréscimo no número de adotantes. Destaca-se que, a partir da obtenção do número final de adotantes totais para cada ano, é possível organizar uma poderosa informação: quanto a tecnologia irá crescer a cada ano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica da difusão da telefonia móvel e da internet para os países do G7 apresentou o comportamento proposto por Rogers (1962): uma curva em forma de “S” ao longo do tempo. Para Andrés *et al* (2010) a difusão da internet segue sempre o formato da curva “S” proposta por Rogers (1962), mas com padrões de comportamento diferentes entre países dependendo da renda. Estas proposições são corroboradas neste estudo.

A pesquisa evidenciou o que Bass (1969) propunha: 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 à fração de adotantes inovadores; ii) o Reino Unido - com parâmetro(p) muito próximo a zero, mas com parâmetro(q) de 40,31%, um dos maiores na tecnologia da telefonia móvel - é o país que primeiramente atinge a inflexão no ano 2000. Verificou-se ainda que: i) os países desenvolvidos analisados atingiram os pontos de inflexão no processo de difusão da telefonia móvel entre 2000 e 2003, e, no processo de difusão da internet entre 2000 e 2005; ii) nos países analisados (do G7) estas tecnologias estão praticamente atingindo seu estado assintótico.

De forma geral, nos países analisados observou-se que rapidamente é capturado o máximo de novos adotantes por ano (T^*), e ainda, na maioria destas economias já não há muitos potenciais adotantes para o crescimento do consumo destas tecnologias. Considerando tal cenário e levando-se em conta que estas tecnologias: i) aceleram a adoção de novos produtos e outras tecnologias, e, portanto, estimulam o consumo das famílias (PRINCE; SIMON, 2009; DEROÏAN, 2002); ii) geram efeitos positivos na produtividade (WUNNAVA; LEITER, 2009; BEILOCK; DIMITROVA, 2003); torna-se evidente a importância das TIC para o processo do progresso tecnológico dos países.

A respeito das estimativas do número final de adotantes, países como Canadá e França não atingirão o que se considera a totalidade da população com telefonia móvel, ou seja, pelo menos uma linha por habitante. Este resultado reforça o que foi encontrado por outras pesquisas de que nestes países a telefonia móvel é complementar à telefonia fixa. Por outro lado, para as demais nações é possível aferir um índice superior a uma linha por habitante, com destaque para a Itália que atingirá a marca de mais de 1,5 linha por habitante.

A partir da observação das estimativas do número final de adotantes totais (m), percebe-se que nenhum dos países desenvolvidos analisados vão atingir 100% da população com acesso à internet, destacando-se a Itália que atingiria apenas pouco mais da metade de sua população. As predições do

modelo, no tocante ao número final de adotantes, são importantes informações às nações, pois demonstram o *gap* existente em relação ao acesso a uma determinada tecnologia. Os achados reforçam o argumento de Crenshaw e Robison (2006) de que mesmo com elevados níveis de acesso à internet em um país, um hiato digital poderá existir. Em linhas gerais fala-se de algo em torno de 10% a 15% da população destas potências econômicas sem acesso a internet. Confere-se então uma conexão direta do modelo para nortear políticas tecnológicas com vistas ao crescimento econômico.

A respeito da velocidade de difusão, a internet mostrou ter maior velocidade nos seguintes países: 1º) França; 2º) Estados Unidos; 3º) Reino Unido; 4º) Alemanha; 5º) Canadá; 6º) Itália; 7º) Japão. Os estudos revisados concordam que, a renda per capita é a principal variável explicativa para adoção da internet. No entanto, as maiores rendas per capita no ano de 2014 ficaram a cargo de: 1º) Estados Unidos; 2º) Canadá; 3º) Alemanha; 4º) Reino Unido; 5º) França; 6º) Japão; 7º) Itália (*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 explicar a difusão desta tecnologia, mas que isso depende de um conjunto de fatores. Pode ocorrer que em determinados contextos, a renda per capita pode perder sua intensidade explicativa, devendo ser acompanhada de outras variáveis influenciadoras na adoção da tecnologia em questão. Então, infere-se que não necessariamente as maiores rendas per capita terão as maiores velocidades de difusão da internet nos países desenvolvidos.

Como sugestão de pesquisas futuras, destaca-se a relevância de comparar a dinâmica da difusão das TIC entre economias em desenvolvimento e desenvolvidas. Também se entende como válido pesquisar se para outras inovações a dinâmica da difusão em economias desenvolvidas segue o mesmo movimento daquele evidenciado aqui.

6. REFERÊNCIAS

- 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. A New Product Growth for Model Consumer Durables. **Management Science**, v.15, p.215-227, 1969.
- 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.
- 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.
- CABRAL, L. M. B.; KRETSCHMER, T. 10 Standards battles and public policy. **Standards and public policy**, p. 329, 2006.
- 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.
- CENSUS (2015). **United States Census Bureau Indicators Database**. Disponível em: <http://www.census.gov/compendia/statab/cats/international_statistics/telecommunications_computers.html>. Acesso em: 14 de ago. 2015.
- 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.
- COPPEL, J. “E-Commerce: Impacts and Policy Challenges”. **OECD Economics Department Working Papers**, No. 252, OECD Publishing, 2000.
- CORROCHER, N.; ZIRULIA, L. Demand and innovation in services: The case of mobile communications. **Research Policy**, v. 39, n. 7, p. 945-955, 2010.
- 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.
- DHOLAKIA, N; DHOLAKIA, R. R.; KSHETRI, N. Internet diffusion. **The Internet Encyclopedia**, 2003.
- DOGANOGLU, T.; GRZYBOWSKI, L. Estimating network effects in mobile telephony in Germany. **Information Economics and Policy**, v. 19, n. 1, p. 65-79, 2007.
- 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.
- FURTADO, A. Difusão Tecnológica: um debate superado? In PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. **Economia da Inovação Tecnológica**. São Paulo: Hucitec, 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.
- 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.
- LITAN, R. E.; RIVLIN, A. M. Projecting the economic impact of the internet. **American Economic Review**, v. 91, n. 2, p. 313-317, 2001.
- LIU, Y.; LI, H. Mobile internet diffusion in China: an empirical study. **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, n. 3, p. 309-324, 2010.
- MADDEN, G.; SAVAGE, S. J. Telecommunications and economic growth. **International Journal of Social Economics**, v. 27, n. 7/8/9/10, p.893-906, 2000.
- MADON, S. The Internet and socio-economic development: exploring the interaction. **Information technology & people**, v. 13, n. 2, p. 85-101, 2000.

- MANGANO, S. **Mathematica Cookbook**. "O'Reilly Media, Inc.", 2010.
- MAHAJAN, V.; MULLER, E.; BASS, F. M. New product diffusion models in marketing: a review and directions for research. **The Journal of marketing**, v.54, n.1, p. 1-26, 1990.
- MAHAJAN, V.; MULLER, E. Innovation Diffusion and New Product Growth Models in Marketing. **The Journal of Marketing**, v.43, n.4, p.55-68, 1979.
- MANSELL, R; WEHN, U. **Knowledge societies: information technology for sustainable development**. New York : Oxford University Press, 1998.
- MANUAL DE OSLO – Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação. 3. ed., **OCDE** (1. ed. de 1997, traduzido para o português em 2004 pela Finep). Disponível em: <http://download.finep.gov.br/imprensa/manual_de_oslo.pdf>. Acesso em: 10 de out. 2015.
- 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.
- MILNER, H. V. The Digital Divide The Role of Political Institutions in Technology Diffusion. **Comparative Political Studies**, v. 39, n. 2, p. 176-199, 2006.
- MUNIZ, S. Investimento Recente, Capacitação Tecnológica e Competitividade. **São Paulo em Perspectiva**, v.14, n.3, 2000.
- NORTON, J. A.; BASS, F. M. A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High Technology Products. **Management Science**, v.33, n.9, p.1069-86, 1987.
- PHUC, P., N., Ky; 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**. 56, 4, 513-530, Sept. 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.
- PULKKI-BRÄNNSTRÖM, A. M.; STONEMAN, P. On the patterns and determinants of the global diffusion of new technologies. **Research Policy**, v. 42, n. 10, p. 1768-1779, 2013.
- 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.
- THIERER, A. D. Is the “digital divide” a virtual reality. **Consumers’ Research Magazine**, v. 83, n. 7, p.16-20, 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.

TIGRE, P. B. E-commerce Readiness and Diffusion: the Case of Brazil. **Center for Research on Information Technology and Organizations**, 2003.

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

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.