

Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro

Working Paper

Difusão biotecnológica: A adoção dos transgênicos na agricultura

Texto para Discussão, No. 1937

Provided in Cooperation with:

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

Suggested Citation: Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro (2014) : Difusão biotecnológica: A adoção dos transgênicos na agricultura, Texto para Discussão, No. 1937, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/121619>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

1937

TEXTO PARA DISCUSSÃO

DIFUSÃO BIOTECNOLÓGICA: A ADOÇÃO DOS TRANSGÊNICOS NA AGRICULTURA

José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho

1937

TEXTO PARA DISCUSSÃO

Brasília, março de 2014

DIFUSÃO BIOTECNOLÓGICA: A ADOÇÃO DOS TRANSGÊNICOS NA AGRICULTURA

José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho*

* Técnico de Planejamento e Pesquisa da Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura (Diset) do Ipea. *E-mail*: jose.vieira@ipea.gov.br

Governo Federal

**Secretaria de Assuntos Estratégicos da
Presidência da República**
Ministro interino Marcelo Côrtes Neri



Fundação pública vinculada à Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente
Marcelo Côrtes Neri

Diretor de Desenvolvimento Institucional
Luiz Cezar Loureiro de Azeredo

**Diretor de Estudos e Relações Econômicas
e Políticas Internacionais**
Renato Coelho Baumann das Neves

**Diretor de Estudos e Políticas do Estado,
das Instituições e da Democracia**
Daniel Ricardo de Castro Cerqueira

**Diretor de Estudos e Políticas
Macroeconômicas**
Cláudio Hamilton Matos dos Santos

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais,
Urbanas e Ambientais**
Rogério Boueri Miranda

**Diretora de Estudos e Políticas Setoriais
de Inovação, Regulação e Infraestrutura**
Fernanda De Negri

Diretor de Estudos e Políticas Sociais
Rafael Guerreiro Osorio

Chefe de Gabinete
Sergei Suarez Dillon Soares

**Assessor-chefe de Imprensa
e Comunicação**
João Cláudio Garcia Rodrigues Lima

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>
URL: <http://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação cujo objetivo é divulgar resultados de estudos direta ou indiretamente desenvolvidos pelo Ipea, os quais, por sua relevância, levam informações para profissionais especializados e estabelecem um espaço para sugestões.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2014

Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.- Brasília : Rio de Janeiro : Ipea , 1990-

ISSN 1415-4765

1. Brasil. 2. Aspectos Econômicos. 3. Aspectos Sociais.
I. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CDD 330.908

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade do(s) autor(es), não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou da Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

JEL: O33; Q16; Q55.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO 7

2 MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS: EXPONENCIAL DE FONTE CENTRAL
E LOGÍSTICO DE CONTÁGIO 9

3 A DIFUSÃO DA BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA 17

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS 35

REFERÊNCIAS 38

ANEXOS 41

SINOPSE

As técnicas de engenharia genética são fundamentais na moderna produção agrícola e, ao mesmo tempo, demandam regulação em vários níveis. A difusão do plantio de organismo geneticamente modificado (OGM) tem crescido desde 1996, notadamente nos Estados Unidos, na Argentina e no Canadá. No Brasil, a partir de 1997, a produção de soja transgênica se iniciou de forma ilegal e com lenta taxa de adoção. A legalização do plantio de soja em 2003 intensificou a difusão da biotecnologia no Brasil. O presente estudo procurou apresentar modelos epidemiológicos de difusão: exponencial de fonte central e logístico de contágio. O exemplo que melhor representa o processo de difusão seria o descrito por uma função logística. Embora o trabalho não faça uma discussão aprofundada dos parâmetros desta função, entende-se que o comportamento da curva logística é muito mais complexo, dado que não existe equilíbrio nos valores parametrizados ao longo do tempo.

Palavras-chave: difusão; biotecnologia; curva logística; OGM.

ABSTRACT

The genetic engineering techniques are essential in modern agriculture and, at the same time, demand regulation on several levels. The diffusion of planting genetically modified organisms (GMOs) has grown since 1996, notably in the United States, Argentina and Canada. In Brazil, the production of genetically modified soybeans began illegally and with a slow adoption rate in 1997. The legalization of genetically modified soybean planting in 2003 intensified the spread of biotechnology in Brazil. This study presents two epidemic models of technology diffusion: exponential (central source) and logistic (contagion). The results obtained suggest that the diffusion process is best described by a logistic function. Although the study does not discuss in detail the function's parameters, it is understood that the trajectory of the logistic curve is fairly complex, since there is no equilibrium for fixed values over time.

Keywords: diffusion; biotechnology; logistic function; GMO.

1 INTRODUÇÃO

A inovação na agricultura é um fenômeno que depende tanto dos processos de adoção quanto de difusão tecnológica. A adoção faz parte de um problema microeconômico, enquanto a difusão se dá em uma dinâmica mais complexa, interagindo decisões micro com macroeconômicas. Os problemas sistêmicos que afetam a adoção e o uso de um pacote tecnológico podem ser estudados por diversas abordagens.

Na literatura econômica, é possível encontrar três abordagens básicas sobre a difusão tecnológica: *i*) os modelos epidemiológicos (Griliches, 1957; Mansfield, 1961); *ii*) os modelos de difusão equilibrada (David, 1969; Davies, 1979; Stoneman e Ireland, 1983); e *iii*) os modelos evolucionários (Iwai, 1981a; 1981b; Nelson e Winter, 1982; Silverberg, Dosi e Orsenigo, 1988; Metcalfe, 2002; Vieira Filho e Silveira, 2011). O presente estudo se concentrará na discussão dos modelos epidemiológicos, tanto na formalização matemática quanto na aplicação da difusão dos transgênicos na agricultura brasileira.

Os estudos de Griliches (1957) e Mansfield (1961) foram pioneiros em identificar as regularidades empíricas dos caminhos da difusão tecnológica, tipicamente representadas por curvas logísticas. Para Griliches (1957), as pesquisas agrônomicas nos Estados Unidos relativas ao desenvolvimento do milho híbrido foram iniciadas muito antes de sua primeira aplicação comercial, datada dos anos 1930. Desde então, ao longo de vinte anos ou final da década de 1950, a semente híbrida se difundiu rapidamente para o *cinturão do milho*,¹ com propagação mais rápida da tecnologia em regiões dinâmicas – estado de Iowa, por exemplo – e mais lenta entre os produtores mais tradicionais – aqueles instalados no estado do Alabama.

Para Mansfield (1961), a difusão era geralmente puxada pelas expectativas de ganhos produtivos da inovação e disseminada de acordo com a capacidade de aprendizado dos potenciais usuários da tecnologia. Para Griliches (1957) e Mansfield (1961), a adoção tecnológica seguiria uma taxa de crescimento exponencial em um primeiro momento e, subsequentemente, a variação de adotantes em relação ao tempo se daria por meio de taxas marginais decrescentes.

1. Região que compreende as principais Unidades da Federação (UFs) produtoras de milho nos Estados Unidos – Iowa, Wisconsin, Kentucky, Texas e Alabama.

Cabe observar que esse movimento, segundo Vieira Filho, Campos e Ferreira (2005), Vieira Filho (2009; 2012) e Vieira Filho e Silveira (2011; 2012), não é delineado ao longo de pontos de equilíbrio, os quais podem ou não se alterar ao longo do tempo. As trajetórias tecnológicas que marcam o desenvolvimento de um moderno setor agrícola são determinadas por complexos sistemas de inovação. A difusão de insumos tecnológicos na agricultura ocasiona inovações de produto e de processo, que determinam uma relação insumo-produto na cadeia produtiva. Quanto mais eficiente for o uso da tecnologia, maior será a resposta dos adotantes aos ganhos produtivos, o que influencia as trajetórias tecnológicas do setor fornecedor de insumos. Portanto, a experiência e o aprendizado do produtor no uso da tecnologia aumentam a competitividade e redirecionam os caminhos tecnológicos mais amplos.

No que tange ao comportamento diferenciado da difusão tecnológica nas regiões agrícolas mais atrasadas, segundo o relatório da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2000, p. 254), “(...) *cet “effet Alabama” s’est fait sentir dans tous les pays en développement. Les pays dépourvus de capacité de recherche d’adaptation n’ont pas tiré grand bénéfice des technologies créées à l’étranger*”. Pelo enfoque teórico de Coehn e Levinthal (1989; 1990), pode-se dizer que a difusão menos acelerada se faz presente nas regiões em que os agricultores são desprovidos de adequada capacidade de absorção, o que prejudica o processo de aprendizado.

A adoção tecnológica tem por objetivo incorporar o conteúdo tecnológico dos insumos, que normalmente são produzidos em centros de pesquisas mais desenvolvidos. O objetivo da introdução de conhecimentos gerados em outros centros é justamente captar o conteúdo embarcado dos insumos, como explicado por Vieira Filho (2012). Algumas regiões – ou países –, como mostrado por Esposti (2002), agem de forma oportunista – como *free riders* –, no intuito de absorver o conteúdo tecnológico embarcado, sem ao menos efetuar investimentos necessários em capacidade de aprendizado e adaptação tecnológica.

Desde a década de 1970, a engenharia genética tem sido objeto de controvérsias, quando o primeiro organismo geneticamente modificado (OGM) foi desenvolvido. Com a comercialização dos cultivares geneticamente modificados

(GMs), a biotecnologia² tem sido ponto crucial na produção agrícola. Entretanto, é somente a partir da década de 1990 que se têm os primeiros testes realizados com culturas transgênicas na China, nos Estados Unidos e na França. A China foi o primeiro país a comercializar sementes GMs. Em 1994, os Estados Unidos iniciaram o plantio do tomate com maturação prolongada.

De 1996 em diante, tem-se o aumento na produção de transgênicos nos Estados Unidos, que foi seguida pelas produções da Argentina e do Canadá. No Brasil, a partir de 1997, a produção de soja GM se iniciou de forma ilegal e com lenta adoção via contrabando de sementes da Argentina. Com a legalização comercial da produção desde 2003, verificou-se um crescimento da taxa de adoção das sementes transgênicas nas regiões produtoras brasileiras. O melhoramento genético é fundamental na moderna produção agrícola e, ao mesmo tempo, demanda regulação em vários níveis, diferindo-se entre o contexto histórico e político de cada região.

O presente trabalho procura apresentar os modelos epidemiológicos de difusão tecnológica, bem como fazer uma síntese do mercado de biotecnologia no mundo – o caso das sementes GMs – e, particularmente, no Brasil. Para tanto, quatro seções são apresentadas, incluindo esta breve introdução. A seção 2 formaliza os modelos: *i*) exponencial de fonte central; e *ii*) logístico de contágio. A seção 3, além de apresentar a forma gráfica dos modelos de difusão, procura discutir a difusão biotecnológica no mundo e no Brasil. Por fim, na seção 4, apresentam-se as considerações finais.

2 MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS: EXPONENCIAL DE FONTE CENTRAL E LOGÍSTICO DE CONTÁGIO

2.1 Modelo exponencial de fonte central

Suponha que N seja o tamanho da *população* de potenciais usuários de uma dada tecnologia e que a adoção tecnológica depende de quando o usuário se informa dessa

2. Este trabalho menciona apenas a questão dos organismos modificados por transgenia, não tratando das biotecnologias que se baseiam na produção de inoculantes agrícolas, mudas, métodos de controle integrado de pragas, melhoramento animal e métodos diagnósticos, inovações que ao longo dos últimos quarenta anos contribuíram para aumentar a produtividade, minimizar o impacto ambiental e reduzir custos de produção.

nova técnica ou conhecimento. No tempo t , $y(t)$ denota a quantidade de *adotantes* da tecnologia, e $[N - y(t)]$ a quantidade dos *não adotantes*.

A hipótese principal do modelo exponencial é que o crescimento da quantidade de adotantes de uma determinada tecnologia se dá por meio do encontro aleatório entre não adotantes e uma fonte central de difusão tecnológica – por exemplo, o fato de assistir televisão e obter informações. Assim, o crescimento $\Delta y(t)$ no intervalo de tempo Δt é especificado pelo seguinte produto:

$$\Delta y(t) = P_1 [N - y(t)] \quad (1)$$

Sendo P_1 a probabilidade no instante t de haver um encontro entre não adotantes e a fonte central de efeito fixo.

Supondo que P_1 seja proporcional a Δt , a probabilidade de difusão é dada da seguinte forma:

$$P_1 = \left(\frac{a}{N}\right) \Delta t \quad (2)$$

Em que a é a taxa média de encontros por unidade de tempo, variando no intervalo aberto de 0 a N .

A *fonte central* de difusão, constante ao longo do tempo, pode ser expressa pela razão entre a taxa média de encontros e o tamanho da população, assumindo um valor θ . Para o caso discreto, a transmissão da informação sobre a nova técnica ou conhecimento é fixa, atingindo 0% da população dos não adotantes em cada período. Se $\theta \rightarrow 1$, todos os usuários possuem acesso à fonte de informações e, assim, a difusão tecnológica é instantânea entre todos os usuários. Se $\theta < 1$, o transbordamento da informação entre os usuários é gradual e, conseqüentemente, o uso da nova tecnologia é restrito ao grupo informado. No tempo t e ao longo de um intervalo discreto Δt , substituindo (2) em (1), o crescimento dos usuários da tecnologia é dado pela equação 3:

$$\Delta y(t) = \theta [N - y(t)] \Delta t \quad (3)$$

Tomando o limite quando $\Delta t \rightarrow 0$, a transmissão da informação sobre a nova técnica ou conhecimento é dada por uma fonte central α .³ Esse comportamento pode ser descrito pela equação diferencial ordinária de primeira ordem, que tem sua não homogênea separável, permitindo encontrar o formato da função $y(t)$. Nesse sentido, sabendo-se que $y(0) = 0$, tem-se a seguinte equação diferencial:

$$y'(t) = \alpha[N - y(t)] \quad (4)$$

Colocando-se na forma separada, tem-se a seguinte equação:

$$\frac{1}{[N - y(t)]} y'(t) = \alpha$$

Integrando os dois lados da equação, encontra-se:

$$\int \frac{1}{[N - y(t)]} y'(t) dt = \int \alpha dt$$

$$\left(\int \frac{1}{N - y} dy \right)_{y=y(t)} = \int \alpha dt$$

Por substituição, tem-se que:

$$\left(\int \frac{-1}{u} du \right)_{\substack{u=N-y \\ du=-dy}} = \int \alpha dt$$

$$\log|u|^{-1} + k_1 = \alpha t + k_2$$

Substituindo $u = N - y$; $y = y(t)$ e $k_3 = k_2 - k_1$, encontra-se:

$$\log|[N - y(t)]|^{-1} = \alpha t + k_3$$

3. Na transformação contínua, o parâmetro α tem interpretação distinta de θ . Para tanto, ver anexo A.

Como $N - y(t) > 0$, tirando o exponencial dos dois lados e substituindo $e^{k_3} = k_4$, tem-se o resultado:

$$\frac{1}{[N - y(t)]} = k_4 e^{\alpha t}$$

Com esse resultado, isolando $y(t)$, chega-se à solução geral da equação diferencial não homogênea $\forall \alpha \geq 0$:

$$y(t) = N - \frac{1}{k_4} e^{-\alpha t}$$

Como N é o potencial máximo de adotantes e $y(t)$ é a quantidade de adotantes no tempo t , a parcela denotada por $\frac{1}{k_4} e^{-\alpha t}$ descreve a quantidade de não adotantes no tempo t . Em $t = 0$ e considerando as condições iniciais do problema, tem-se que $\frac{1}{k_4} = N$. Assim sendo, a equação anterior é reescrita, definindo a primitiva da equação 4:

$$y(t) = N(1 - e^{-\alpha t}) \tag{5}$$

A equação 5 apresenta uma função do tipo exponencial modificada, que apresenta similaridade à equação 3. Quando $\alpha \rightarrow \infty$, a difusão tecnológica é dada entre todos os usuários. Se $\alpha = 0$, o transbordamento do conhecimento entre os usuários não se processa e, conseqüentemente, não há difusão tecnológica.

2.2 Modelo logístico de contágio

Diferentemente do modelo anterior, suponha-se agora que cada adotante pode influenciar na decisão do não adotante em relação ao uso da nova tecnologia. Assim, a hipótese fundamental do modelo logístico é que o crescimento da quantidade de adotantes de uma dada tecnologia se dá por meio do encontro aleatório entre não adotantes e adotantes – o exemplo é a propaganda boca a boca. De forma similar, o crescimento $\Delta y(t)$ no intervalo de tempo Δt é especificado pelo produto:

$$\Delta y(t) = P_2 [N - y(t)] \tag{6}$$

Sendo P_2 a probabilidade de difusão no instante t de haver um encontro entre não adotantes e adotantes com restrição dada pela taxa média de encontros por unidade de tempo.

Portanto, além de ser proporcional a Δt e a θ – que fixa a probabilidade máxima de difusão –, no modelo logístico, a probabilidade de difusão depende da participação relativa de adotantes na população e é determinada da seguinte maneira:

$$P_2 = \theta \left[\frac{y(t)}{N} \right] \Delta t \quad (7)$$

O *contágio* é descrito pela participação de adotantes na população – que varia ao longo do tempo –, $[y(t)/N]$. Para o caso discreto, a transmissão da informação sobre a nova técnica ou conhecimento é variável, já que depende da porcentagem de contágio distinto em cada período. No tempo t e ao longo de um intervalo discreto Δt , substituindo (7) em (6), o crescimento dos usuários da tecnologia é dado pela equação 8:

$$\Delta y(t) = \theta \left[\frac{y(t)}{N} \right] [N - y(t)] \Delta t \quad (8)$$

Tomando o limite quando $\Delta t \rightarrow 0$, a transmissão da informação sobre a nova técnica ou conhecimento é dada pela probabilidade de contágio $\beta[y(t)/N]$ em relação à parcela de não adotantes $[N - y(t)]$, aproximando-se do formato da curva logística.⁴ Esta representação descreve a equação diferencial ordinária de primeira ordem, que permite encontrar o formato da função $y(t)$. Nesse sentido, considerando $y(0)$ igual a um valor positivo no intervalo aberto $(0, N)$, tem-se a seguinte equação diferencial:

$$y'(t) = \beta \left[\frac{y(t)}{N} \right] [N - y(t)] \quad (9)$$

4. Perceba-se que, de forma análoga ao modelo exponencial, a interpretação de θ e β é distinta (anexo B).

Colocando-se a equação 9 em sua forma separada,⁵ tem-se a seguinte equação:

$$y'(t) \frac{1}{y(t)[N - y(t)]} = \frac{\beta}{N}$$

Integrando os dois lados da equação, encontra-se:

$$\int y'(t) \frac{1}{y(t)[N - y(t)]} dt = \int \frac{\beta}{N} dt \quad (10)$$

Que pode ser reescrita como:

$$\left(\int \frac{1}{y(N - y)} dy \right)_{y=y(t)} = \int \frac{\beta}{N} dt$$

Para o lado esquerdo da igualdade da equação 10, utiliza-se o método das frações parciais. Para tanto, deve-se escrever que:

$$\frac{1}{y(N - y)} = \frac{A}{y} + \frac{B}{N - y} = \frac{A(N - y) + By}{y(N - y)}$$

Determinando as constantes A e B e igualando os numeradores, segue a igualdade dos polinômios:

$$0y + 1 = 1 = A(N - y) + By = (B - A)y + AN$$

5. Se $F(y)$ é uma função derivável, então existe uma única solução para o seguinte problema de valor inicial (PVI): $y'(t) = F[y(t)]$, com $y(t_0) = y_0$. Ou seja, se $z(t)$ e $w(t)$ são soluções da mesma equação diferencial ordinária, de modo que se $z(t_0) = w(t_0)$, conclui-se que as funções $z(t)$ e $w(t)$ são idênticas. Este resultado, conhecido como *teorema de existência e unicidade* de PVI, implica que, se $z(t)$ e $w(t)$ são duas soluções distintas da mesma equação diferencial ordinária, $z(t) \neq w(t)$, $\forall t$. Tal raciocínio pode ser aplicado à equação logística, uma vez que, neste caso, $F(y)$ é uma função derivável em relação à \mathcal{Y} . Finalmente, como as funções constantes $z(t) = 0$ e $w(t) = N$ são soluções da equação logística, qualquer solução $y(t)$ da equação diferencial ordinária com $y(0)$ diferente de 0 e N deve ser tal que $y(t)$ é diferente de 0 e $N \forall t$. Nesse sentido, o procedimento de separação pode ser utilizado sem problema nesses casos. Lembrando que não há solução negativa, a solução geral da equação logística é então dada pelas soluções constantes $z(t) = 0$ e $w(t) = N$, bem como pelas soluções obtidas pelo procedimento de separação, adotado neste trabalho.

Logo, $AN = 1$, pois $B - A = 0$. Segue então que $A = B = 1/N$. Neste caso, a integral do lado direito pode ser expressa por:

$$\begin{aligned} \int \frac{1}{y(N-y)} dy &= \frac{1}{N} \int \frac{1}{y} dy + \frac{1}{N} \int \frac{1}{N-y} dy \\ &= \frac{1}{N} \log|y| + k_1 + \frac{1}{N} \left(\int \frac{-1}{u} du \right)_{\substack{N-y=u \\ dy=-du}} \\ &= \frac{1}{N} \log|y| + k_1 - \frac{1}{N} \log|u| + k_2 \\ &= \frac{1}{N} \log|y| + k_1 - \frac{1}{N} \log|N-y| + k_2 \\ &= \frac{\log|y| - \log|N-y|}{N} + k_1 + k_2 \\ &= \frac{\log\left(\frac{|y|}{|N-y|}\right)}{N} + k_1 + k_2 \end{aligned}$$

Substituindo $y = y(t)$ e $k_1 + k_2 = k_3$, tem-se que:

$$\int y'(t) \frac{1}{y(t)[N-y(t)]} dt = \frac{1}{N} \log \left| \frac{y(t)}{N-y(t)} \right| + k_3$$

Para o lado direito da igualdade da equação 10, o procedimento é mais simples. Tem-se que:

$$\int \frac{\beta}{N} dt = \frac{\beta t}{N} + k_4$$

Igualando, portanto, os dois lados, sabendo que $y(t) > 0$, $N - y(t) > 0$ e definindo que $k_5 = (k_4 - k_3)N$, conclui-se que:

$$\log\left(\frac{y(t)}{N - y(t)}\right) = \beta t + k_5$$

$$\frac{y(t)}{N - y(t)} = e^{\beta t + k_5}$$

$$y(t) = e^{\beta t + k_5} [N - y(t)]$$

$$y(t) = e^{\beta t + k_5} N - e^{\beta t + k_5} y(t)$$

$$y(t) + e^{\beta t + k_5} y(t) = e^{\beta t + k_5} N$$

$$y(t) = \frac{e^{\beta t + k_5} N}{1 + e^{\beta t + k_5}}$$

Assim sendo, encontra-se a primitiva da equação 9:

$$y(t) = N[1 + e^{-(\beta t + k_5)}]^{-1} \quad (11)$$

A equação 11 apresenta uma função do tipo logística modificada,⁶ sendo definida no intervalo aberto $(0, N)$ e com $y'(t) > 0$, ou seja, $y(t)$ não parte do zero e não atinge N . Esta função depende de três parâmetros: *i*) a data da primeira disponibilidade comercial da tecnologia descrita pela constante de integração k_5 , que posiciona a *curva S* no tempo; *ii*) o teto potencial de inovadores no mercado, sendo especificado pelo tamanho da população N ; e *iii*) a taxa de adoção expressa por β . Quando $(\beta t + k_5) \rightarrow \infty$, $y(t) \rightarrow N$. Quando $(\beta t + k_5) = 0$, $y(t) = \frac{N}{2}$. Quando $(\beta t + k_5) \rightarrow -\infty$, $y(t) \rightarrow 0$.

6. Procurou-se fazer a formalização matemática bastante detalhada, no intuito de deixar bem claro todas as passagens. De um lado, Griliches (1957), estudo clássico sobre o assunto, apresenta a derivada da função logística expressa com erros de cálculo. De outro, Geroski (2000) omite passos da formulação discreta para a contínua, o que induz a erros de interpretação. Portanto, entende-se que o detalhamento do procedimento de cálculo diferencial seja importante.

3 A DIFUSÃO DA BIOTECNOLOGIA AGRÍCOLA

3.1 Apresentação teórica e gráfica

Para compreender adequadamente os modelos de difusão tecnológica, é necessário ir além da obtenção de uma nova informação. A tecnologia pode ser definida como um conjunto de conhecimentos que são articulados entre si e que servem para solucionar um problema. Com uma nova tecnologia, o agente é capaz de aumentar sua produtividade, consequentemente sua receita, e reduzir custos de produção em relação aos seus competidores. Quanto mais rápida é a incorporação da tecnologia e dos novos conhecimentos, mais o agente é capaz de ampliar sua parcela de mercado e manter lucros de monopólio temporários.⁷

Ao adotar uma estratégia competitiva, o investimento na produção visa, de um lado, obter ferramentas e máquinas que possam solucionar problemas e aumentar os ganhos produtivos. De outro, parte do investimento está relacionado à forma articulada de organizar os novos conhecimentos, os quais são capazes também de resolver tarefas, melhorando assim a eficiência dos agentes produtivos na utilização dos recursos e das matérias-primas. Portanto, o conhecimento pode estar incorporado em objetos físicos. A aquisição destes objetos por parte dos agentes faz com que haja um ganho instantâneo de produtividade. Entretanto, como observado por Vieira Filho e Silveira (2011), existe uma parcela do conhecimento que depende dos arranjos de aprendizado do uso da nova tecnologia, das máquinas mais modernas ou das novas ferramentas. É o conhecimento tácito.

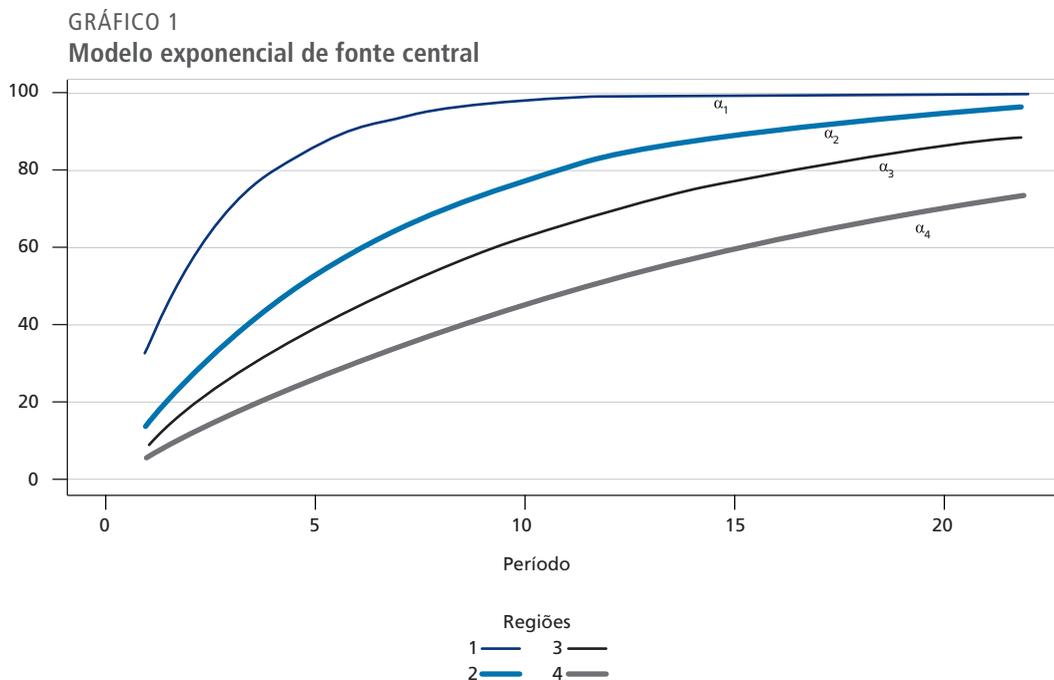
Os modelos exponencial e logístico buscam interpretar a dinâmica tanto do conhecimento incorporado quanto do conhecimento não embarcado na tecnologia.⁸ O modelo exponencial de fonte central descreve a transmissão da informação incorporada na tecnologia, ou seja, não há contágio entre indivíduos. A difusão do conhecimento é feita por uma taxa constante. Já o modelo logístico descreve uma situação em que, uma vez adotada a tecnologia por um agente, a difusão da nova informação se propaga mediante um comportamento do tipo “boca a boca”. O uso eficiente de uma tecnologia por um agente interfere na escolha de

7. Para uma abordagem evolucionária do processo de inovação tecnológica na agricultura, ver Salles-Filho (1993); Possas, Salles-Filho e Silveira (1996); Vieira Filho (2004; 2009); Vieira Filho, Campos e Ferreira (2005; 2009); e Vieira Filho e Silveira (2011).

8. Para uma versão mais completa, que incorpore tanto a representação da fonte central quanto do contágio em um único modelo, confira Geroski (2000). Para a associação dos dois modelos, bastaria calcular a primitiva de uma equação diferencial ordinária determinada por: $y'(t) = (P_1 + P_2)[N - y(t)]$.

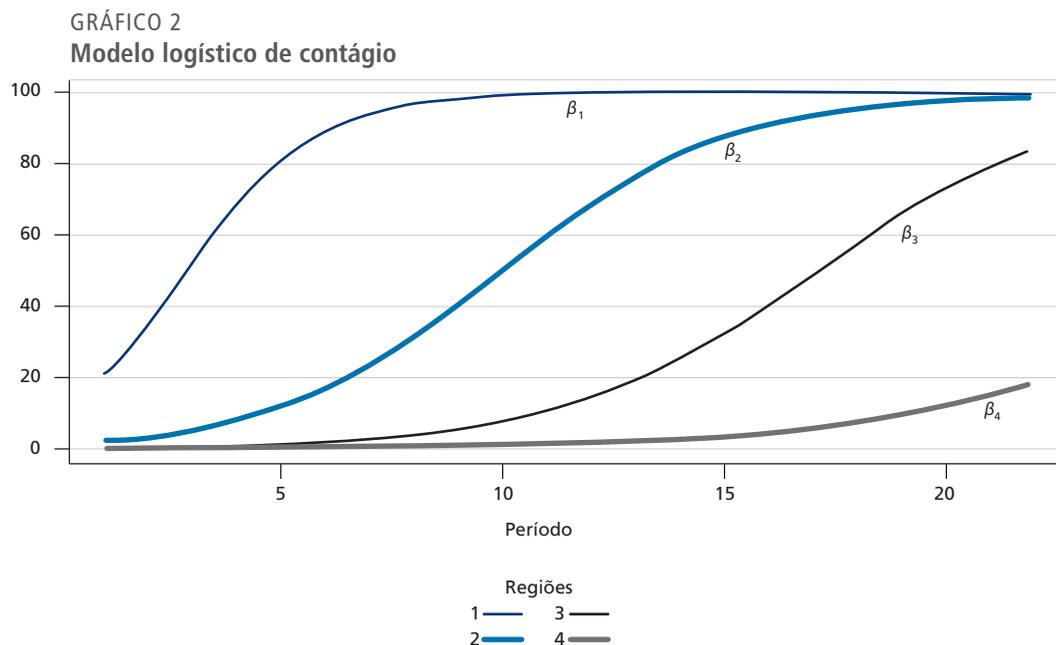
uso de um não adotante, o que delinea um comportamento crescente no seu início e decrescente no seu final. Quando a informação é uma novidade, tem-se uma rápida transmissão do conhecimento. A partir do momento em que a informação fica obsoleta, passam a existir novas tecnologias que possam substituir o antigo conhecimento, bem como os agentes mais susceptíveis às mudanças são os primeiros a adotarem a tecnologia.

A função exponencial modificada (equação 5) pode ser plotada no gráfico, tendo o seu formato expresso pelo gráfico 1. Claramente, dado um ponto de partida $t > 0$, quanto menor for α , menor será a velocidade de difusão e menor será a quantidade de usuários da tecnologia em um dado tempo. Assim, tem-se que $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3 > \alpha_4$. Os diferentes parâmetros indicam características, por exemplo, do comportamento regional em adotar uma nova tecnologia para a produção agropecuária, o que é o caso da plantação de cultivares GMs. No modelo exponencial, a difusão acontece até que seja alcançado o teto de adotantes, que pode ser 100% ao final do período, com incorporação máxima do conhecimento entre todos os agentes possíveis. A velocidade é constante ao longo do tempo e não há o efeito de propagação quanto maior for a adoção da nova tecnologia entre os indivíduos, ou seja, este é um modelo de efeito fixo.



Elaboração do autor.

O modelo logístico segue o comportamento de uma *curva S*, como pode ser visto no gráfico 2. Neste modelo, existe uma probabilidade máxima β , que varia conforme a porcentagem de adoção tecnológica nas regiões agrícolas e que depende do crescimento dos usuários, mostrando um efeito de propagação da informação entre os indivíduos.⁹ No que se refere ao caso dos cultivos GMs, existem regiões pioneiras que saem na frente da competição, enquanto há regiões que demoram a adotar a tecnologia e nem sempre a difusão é dada de forma eficaz como nas primeiras.



O gráfico 2 mostra que tanto o ponto de partida $t > 0$ (ou data da primeira disponibilidade comercial) quanto a taxa de adoção ($\beta_1 > \beta_2 > \beta_3 > \beta_4$) são pontos importantes para definir o formato da *curva S*. Além disso, o crescimento logístico é definido pela equação 11, em que $y(t)$ é a porcentagem plantada de semente transgênica, N é o teto potencial de adotantes da nova tecnologia, ou ponto de equilíbrio, e k_5 é uma constante de integração que posiciona a curva na escala do tempo. Esta curva tem algumas propriedades interessantes. É assintótica em 0 e N , simétrica em

9. É importante lembrar que a propagação da informação depende do grau de aprendizado dos agentes, segundo explicação formalizada por Vieira Filho e Silveira (2011) e Vieira Filho (2009).

torno do ponto de inflexão e a primeira derivada em relação ao tempo é dada pela equação 9, em que a taxa de crescimento é proporcional ao crescimento já atingido e entre a distância até o teto potencial. Vale observar que a difusão de uma tecnologia pode ocorrer em um menor espaço de tempo, dependendo da taxa de adoção dos agentes.

3.2 O caso dos cultivos geneticamente modificados

Esta subseção busca fazer uma breve apresentação do desenvolvimento global do cultivo de biotecnologia no mundo, procurando especificar o caso brasileiro. A incorporação sistemática de inovações tecnológicas na agricultura¹⁰ promoveu o aumento da produtividade total dos fatores (PTF)¹¹ em cultivos estratégicos das cadeias de alimentos e fibras, bem como definiu uma queda generalizada dos preços ao longo do tempo. A liderança produtiva foi estabelecida pelos países agroexportadores que detinham capacidade de produção em larga escala, apresentando uma trajetória tecnológica intensiva em energia e insumos. É fácil perceber que esta estrutura de mercado praticamente inviabiliza a busca de alternativas, seja pela agroecologia, seja pela agricultura orgânica.

Embora o primeiro cultivo GM liberado para o plantio comercial date de 1994 (tomates), somente em 1996 tem-se um plantio significativo de culturas biotecnológicas – o que representava 1,6 milhão de hectares. Desde então, a produção de cultivos GMs aumentou significativamente, sendo que a área destinada a este tipo de produção alcançou 139,3 milhões de hectares entre 2010 e 2011.

Conforme o gráfico 3, os principais cultivos GMs produzidos no mundo são soja, milho, algodão e canola, sendo que a área destinada à produção destes quatro cultivos representou 42% da área da produção global para o mesmo grupo de produtos. Em 2010, a área produzida de soja foi a principal cultura (51%), seguida por milho (30%), algodão (14%) e canola (5%).

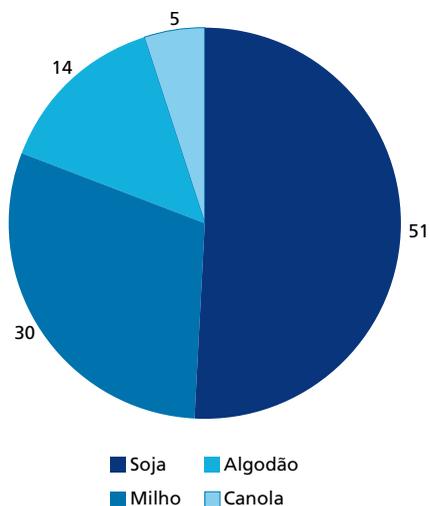
10. Vieira Filho e Silveira (2012) fazem uma revisão crítica da literatura sobre a mudança tecnológica na agricultura.

11. Conforme Gasques *et al.* (2012), a produtividade total dos fatores (PTF) brasileira cresceu de forma significativa de 1970 a 2006, tendo uma taxa anual de crescimento mais elevada nos anos mais recentes. Não há dúvida que o impacto da produção transgênica no período mais recente vem influenciando os ganhos de produtividade na produção de soja.

GRÁFICO 3

Área plantada com biotecnologia no mundo por cultivos GMs (2010)

(Em %)



Fonte: Brookes e Barfoot (2012).

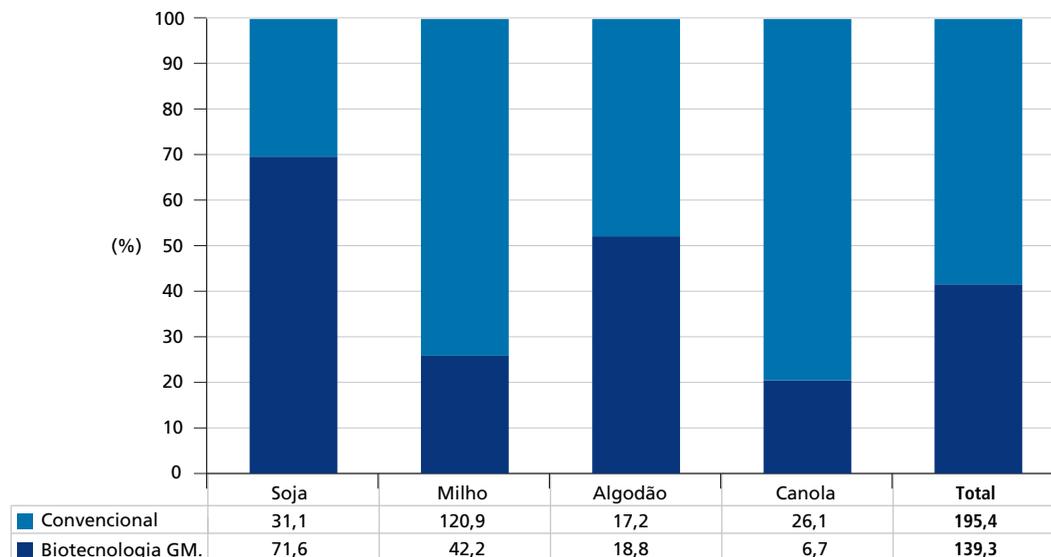
Obs.: área baseada das quatro culturas equivalente a 139,3 milhões de hectares.

Em termos de parcela de mercado da produção biotecnológica GM e convencional, pelo gráfico 4 nota-se que a área produzida de soja GM já representava cerca de 70% da área de produção total em 2010, o que significou mais de 71 milhões de hectares destinado a esta cultura. A área da produção de algodão GM, por sua vez, ultrapassou os 50% nesse mesmo ano. Embora a participação da área produzida de milho GM fosse menor (26%), a área destinada ao cultivo ocupou a segunda colocação, cerca de 42 milhões de hectares em valores absolutos de 2010.

GRÁFICO 4

Parcela de mercado da área plantada de biotecnologia GM e convencional no mundo por cultivos (2010)

(Em milhões de hectares)



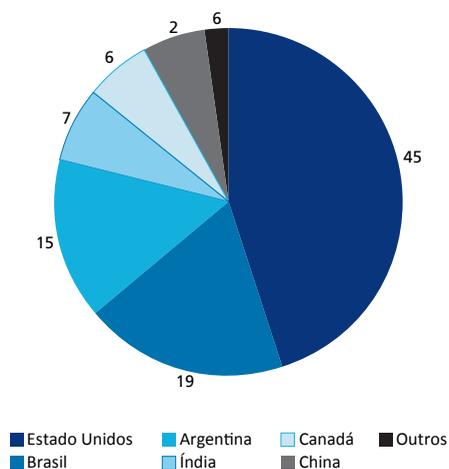
Fonte: Brookes e Barfoot (2012).

No que se refere à adoção de biotecnologia GM, o gráfico 5 mostra a participação dos principais países adotantes em ordem de importância de área plantada. Em 2010, os Estados Unidos foram a principal região produtora, representando algo em torno de 45% do mercado. Os americanos foram um dos primeiros a adotarem a tecnologia, em 1996, para cultivos de soja, milho, algodão e, posteriormente, em 1999, para o cultivo de canola. Canadá e Argentina, junto com os Estados Unidos, foram países pioneiros na produção de cultivos GMs no mundo. Entretanto, cada vez mais, o Brasil vem ganhando posição de destaque neste mercado. O Brasil aparece como segundo maior produtor de cultivos GMs, algo em torno de 19% da área plantada. Inicialmente, a partir de 1997, ano de início da comercialização da soja GM na Argentina, a adoção brasileira da semente de soja GM se deu de forma ilegal, sendo comercializada no Sul, região de fronteira ao mercado argentino. A adoção ilegal por parte dos produtores se deu até 2003, momento da legalização da plantação comercial de soja GM no Brasil. Em 2002, pouco mais de 10% da produção de soja brasileira já era oriunda de sementes GMs.

GRÁFICO 5

Parcela de mercado da área de produção biotecnológica GM por países (2010)

(Em %)



Fonte: Brookes e Barfoot (2012).

De acordo com Silveira, Borges e Fonseca (2007) e Borges (2010), a preocupação da sociedade em relação aos possíveis efeitos da transgenia na saúde humana e nos problemas ambientais criou forte assimetria no padrão de difusão das inovações biotecnológicas, aumentando o grau de incerteza social e ambiguidade. A imensa mobilização em torno da questão de biossegurança foi suficiente para obstruir o crescimento da produção transgênica no Brasil até 2005. Esta situação de elevada incerteza paralisou o esforço de pesquisa e de comercialização das inovações no mercado brasileiro.

Desde então, a tecnologia de sementes GMs vem crescendo muito em várias regiões brasileiras de forma bastante heterogênea,¹² incluindo a produção de algodão, em 2004, e de milho, em 2008. Vale destacar que Estados Unidos, Brasil e Argentina são os grandes exportadores agrícolas, responsáveis por 80% da proteína vegetal exportada no mundo, e os maiores fornecedores de proteína animal – considerando que a produção de grãos se encaixa como insumo estratégico na cadeia produtora de carnes. A Índia e

12. Verificam-se diferenças significativas entre os países nos padrões de difusão. Fornazier e Vieira Filho (2012) fizeram um estudo identificando a heterogeneidade estrutural da agricultura brasileira. O acesso às tecnologias é influenciado conforme o grau de heterogeneidade regional existente. Nesse sentido, em qualquer análise econômica comparando as UFs brasileiras, a difusão tecnológica se dará de forma desigual no território.

a China aparecem com menores participações, basicamente relacionadas à produção de algodão. Enquanto nos Estados Unidos, no Brasil, na Argentina e no Canadá o processo de difusão da agricultura se dá via mercado, os arranjos público-privados motivados por políticas públicas dominam a economia da Índia e da China.

Em uma comparação internacional, a tabela 1 indica a porcentagem plantada dos principais cultivos. Nota-se que as porcentagens adotadas na economia americana e argentina são bastante elevadas, atingindo mais de 80% em relação ao milho e chegando próximo ao teto potencial nos cultivos de soja e algodão. No Brasil, em 2010, a produção de soja GM representou 76% do total plantado. Para o milho, chegou-se a 57% de adoção, seguido do algodão, com a porcentagem de 27%. O processo de difusão do milho ainda se encontra restrito, dada a insuficiência na oferta de sementes híbridas transgênicas para as condições do clima brasileiro.

TABELA 1
Parcela de mercado da produção biotecnológica por países e por cultivos GM (2010)
(Em % do total plantado)

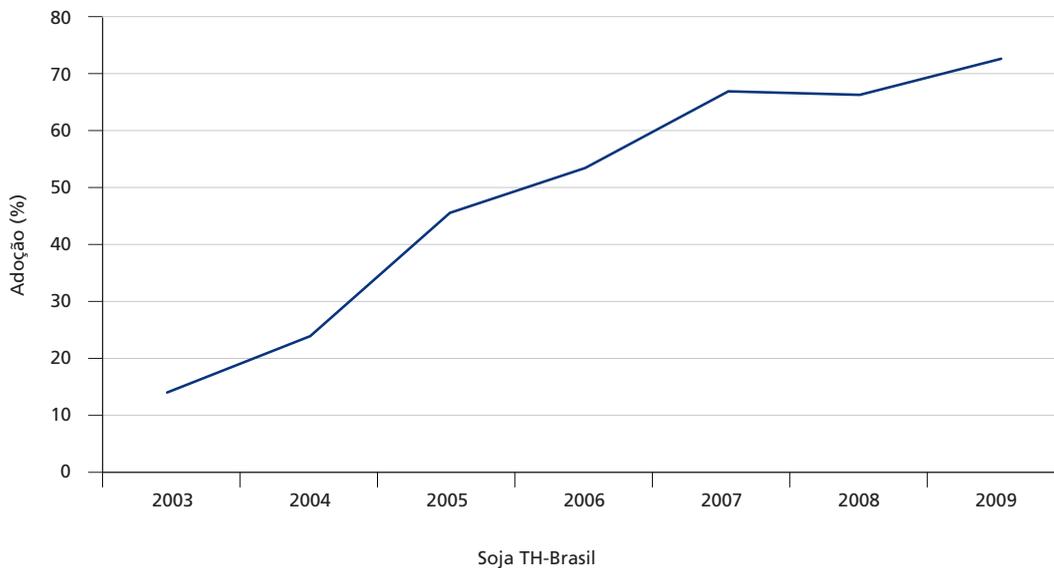
País	Soja	Milho	Algodão	Canola
Estados Unidos	93	86	93	88
Brasil	76	57	27	na
Argentina	99	86	98	na
Índia	na	na	85	na
Canadá	70	94	na	na
China	na	na	67	na

Fonte: Brookes e Barfoot (2012); Céleres (2012).
Obs.: na = não aplicável.

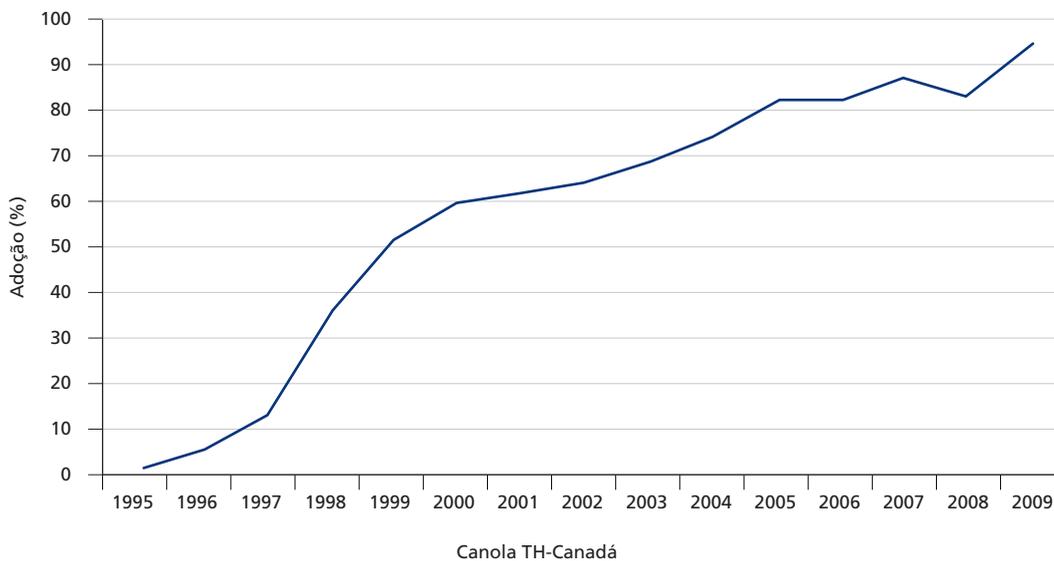
A velocidade de difusão dos cultivares GMs na agricultura se deveu a sua utilização em larga escala. O gráfico 6 mostra que o processo de difusão segue um formato de *curva S*, como já explicitado anteriormente no modelo logístico de contágio. No caso brasileiro da soja tolerante a herbicida (TH), esta curva é menos definida, posto as amarras institucionais – de 1997 a 2003 – que antecederam a legalização do cultivo no país (Silveira e Borges, 2004). O problema institucional se arrastou por cerca de dez anos até a promulgação da Lei de Biossegurança – Lei nº 8.974/2005. Na China e no Canadá, a curva se mostra bastante irregular. Porém, para o caso indiano, a difusão do cultivar de algodão resistente a insetos (RI) é bem definida, seguindo claramente o formato logístico.

GRÁFICO 6
Curvas de difusão de cultivares GM em países selecionados

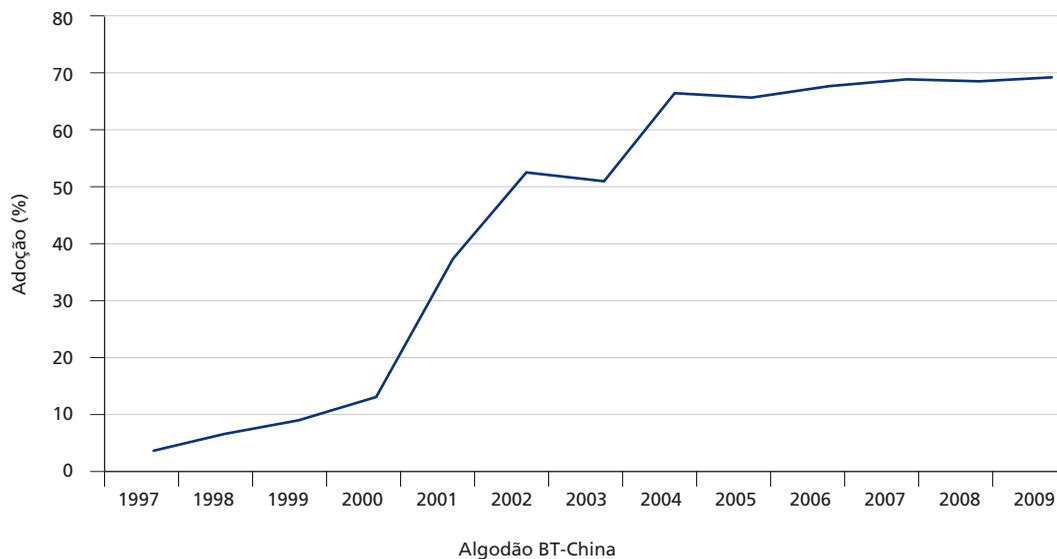
6A - Soja - Brasil



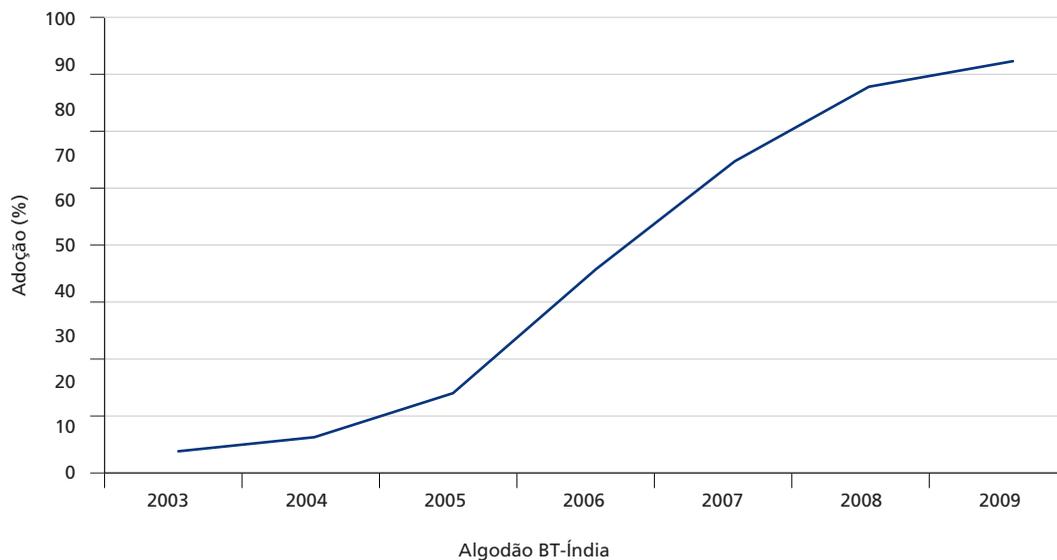
6B - Canola - Canadá



6C - Algodão - China



6D - Algodão - Índia



Fonte: James (2009, *apud* Silveira, 2010).¹³

13. James, C. *Global status of commercialized biotech GM crops: 2006*. Ithaca: ISAAA Brief, 2009.

As instituições formais – leis e regras codificadas – e as informais – convenções, rotinas, práticas estabelecidas e comportamentos individuais de indivíduos, empresas e organizações –, segundo Silveira e Borges (2004), são essenciais nos processos de inovação biotecnológica. Ao mesmo tempo que estimulam, elas podem também retardar o progresso técnico. De um lado, o desenvolvimento, o uso e a comercialização de uma tecnologia é regulada via instituições formais, de outro, mesmo com autorizações legais, as instituições informais podem dificultar a difusão tecnológica, seja pelo hábito, seja pelo desconhecimento sobre os benefícios marginais da nova tecnologia.

Nesse aspecto, como salientado por Silveira e Borges (2004), os países se posicionam em torno de dois princípios: *i*) o da precaução; e *ii*) o da equivalência substancial. Caso se considere que não existe conhecimento suficiente para evitar possíveis danos à saúde humana e ao meio ambiente, a União Europeia busca tomar medidas de precaução no uso da biotecnologia, evitando o cultivo de transgênicos. Os Estados Unidos e a Argentina adotam uma posição mais pragmática, analisando as qualidades técnicas do produto final, que foi originado de matéria-prima geneticamente modificada. O comportamento mais pragmático reduziu os custos de liberalização dos cultivares transgênicos, o que estimulou o aumento da produção nesses mercados.

Embora o modelo brasileiro seja similar ao da União Europeia, que nomeia uma comissão técnica de biossegurança (CTNBIO), composta por cientistas e profissionais de notório saber, para avaliar cada evento que se pretenda transformar em produto comercializável, o sistema vem se flexibilizando no período mais recente. Além disso, a sociedade brasileira é menos avessa à produção transgênica, quando comparada ao mercado europeu.

Portanto, os países apresentam dinâmicas diferenciadas da adoção e incorporação da biotecnologia, que passa por um lento processo de homogeneização – padronização de normas e de direitos de propriedade intelectual. Quanto mais suave for este processo, mais delineada é a curva logística. No caso brasileiro, como visto por Silveira (2010) e Silveira, Borges e Ojima (2009), o atraso no processo de difusão de cultivares GMs relacionou-se mais aos problemas institucionais de legalização ao plantio e à visão crítica frente ao agronegócio em concentrar renda na economia que a qualquer evidência de problema de biossegurança associada à produção de cultivos transgênicos.

No intuito de comparar os modelos exponencial e logístico, estimaram-se os parâmetros das curvas para a soja, o algodão e o milho no Brasil. Além disso, buscou-se ajustar uma forma linearizada e outra não linear das equações 5 e 11 do referencial teórico. A tabela 2 apresenta os resultados dos ajustes que se mostraram estatisticamente significativos. De um modo geral, o modelo logístico não linear foi o que apresentou melhor ajuste. De qualquer forma, vale observar que o número de observações é muito baixo, fazendo que o modelo exponencial também tenha um bom ajuste, embora inferior ao logístico. Quanto ao modelo logístico, nota-se que o milho apresentou maior taxa de adoção – em torno de 0,85 para as duas transformações –, enquanto a soja e o algodão apresentaram taxas inferiores – próximas de 0,36. Cabe observar que, pelo gráfico 9, realmente a taxa de adoção do milho GM supera a dos outros cultivos, ultrapassando a porcentagem de adoção do algodão em 2008 e alcançando a soja ao final do período.

TABELA 2
Ajuste dos parâmetros da curva de difusão – exponencial e logística – pela transformação linearizada e não linear da taxa de adoção das cultivares GMs no Brasil

Modelos	Tipos	Parâmetros estimados	Soja	Algodão	Milho
Exponencial	Linearizado	α	0,1703 ¹	0,0435 ¹	0,2095 ¹
		R^2	0,98	0,87	0,94
	Não linear	α	0,1519 ¹	0,0403 ¹	0,1747 ¹
		R^2	0,99	0,91	0,93
Logístico	Linearizado	β	0,3630 ¹	0,3536 ¹	0,8652 ²
		k_5	-1,9274 ¹	-3,7709 ¹	-3,6532 ²
		R^2	0,98	0,91	0,91
	Não linear	β	0,3630 ¹	0,3779 ¹	0,8477 ¹
		k_5	-1,9007 ¹	-3,9769 ¹	-3,4243 ¹
		R^2	0,99	0,98	0,98
Número de observações			11	10	6

Elaboração do autor.

Notas: ¹significância estatística de 1%

²significância estatística de 5%.

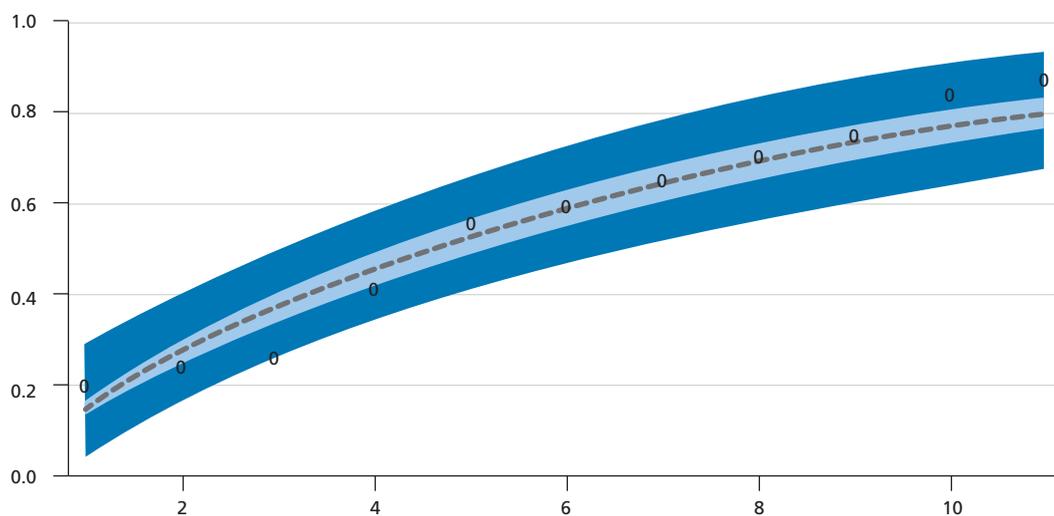
Conforme estudo realizado por Vieira Filho e Vieira (2013), no que tange à proteção de cultivares no mercado brasileiro, a participação pública nos registros de cultivares é bastante significativa, sendo de 94% no milho, 43% no algodão e 39% na soja. O número de empresas detentoras de cultivares protegidas aumentou com o passar do tempo. Este fato é comprovado com a soja, cujo melhoramento genético anterior à década de 1990 era realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e por poucas empresas privadas. De 2000 em diante, a indústria de sementes passou por significativa reestruturação. Em 2012, diversas empresas já disputavam o mercado e possuíam programas específicos de melhoramentos. O número acumulado de cultivares protegidas de soja da Embrapa, de 1998 a 2012, era de 158 variedades, sendo 25% transgênica.

Pelo gráfico 7, verificam-se os ajustes estatísticos do modelo exponencial não linear, o que melhor se adequou às observações. Nota-se que a soja obteve um ajuste razoável da curva exponencial, enquanto, para os demais cultivos, o ajuste não foi tão claro.

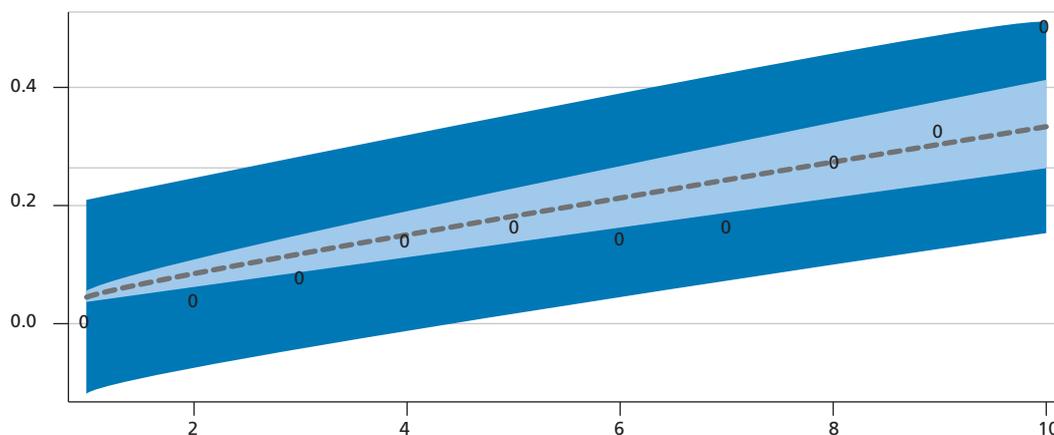
GRÁFICO 7

Ajuste não linear do modelo exponencial de soja, milho e algodão GM – Brasil

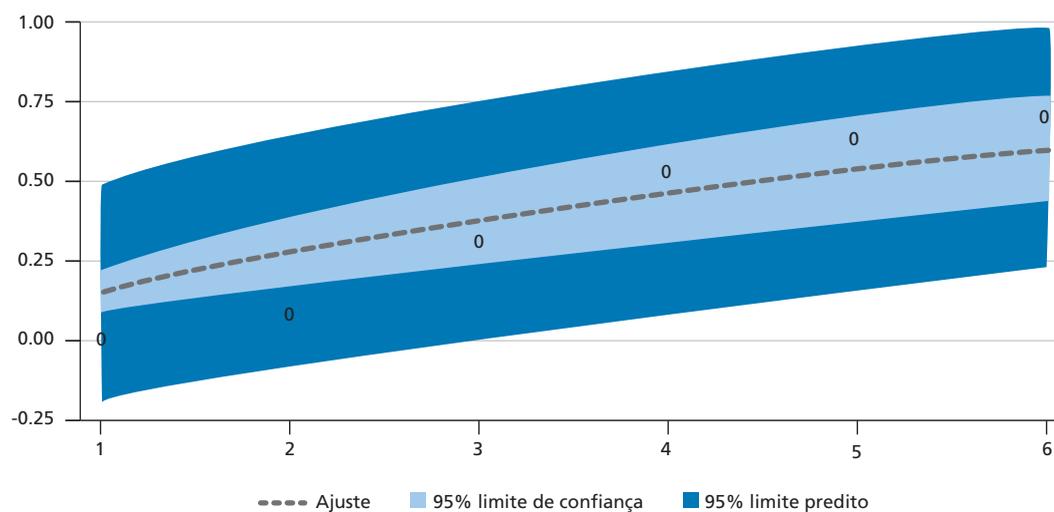
7A - Soja



7B - Algodão



7C - Milho

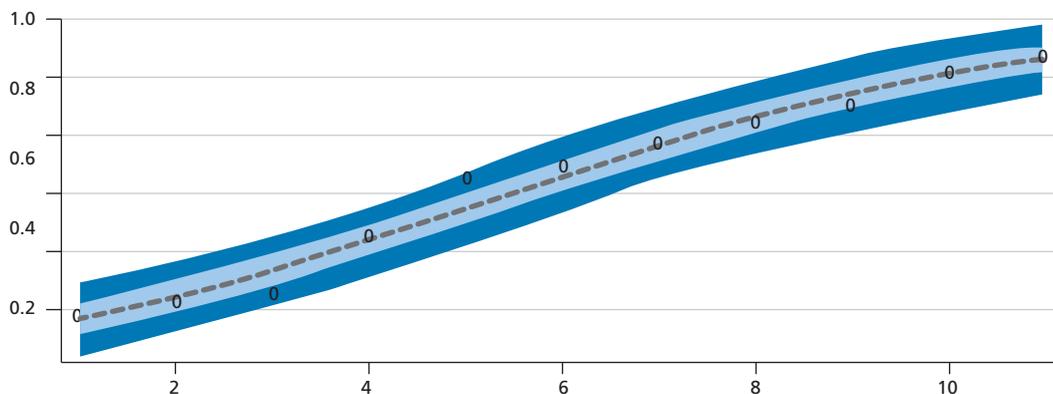


Elaboração do autor.

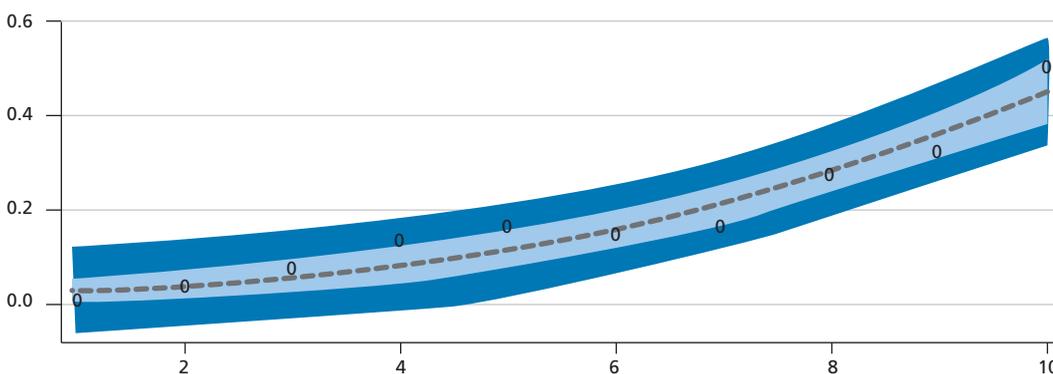
O gráfico 8 apresenta os ajustes estatísticos do modelo logístico não linear. Conforme a visualização gráfica, tanto a soja quanto o milho se ajustaram ao formato da *curva S*. Quanto ao algodão, este ajuste pelo visto está no início do processo de difusão, o que pode ser comprovado por ser este o cultivo com o menor grau de adoção entre a soja e o milho – cerca de 50% de adoção em 2012, enquanto a soja e o milho detinham aproximados 89% e 76% de adoção, respectivamente. O curioso é perceber que a soja obteve um bom ajuste nos dois modelos – exponencial e logístico –, e, assim, é necessário ponderar as análises, dado o baixo número de observações.

GRÁFICO 8
Ajuste não linear da curva de difusão logística de soja, milho e algodão GM – Brasil

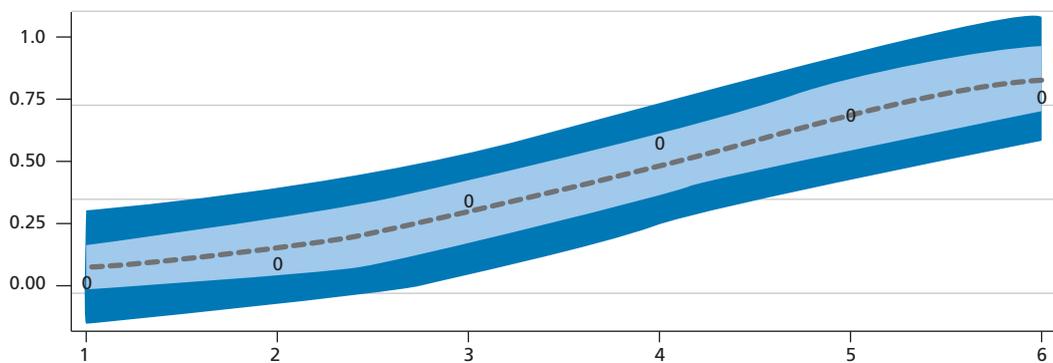
8A - Soja



8B - Algodão



8C - Milho

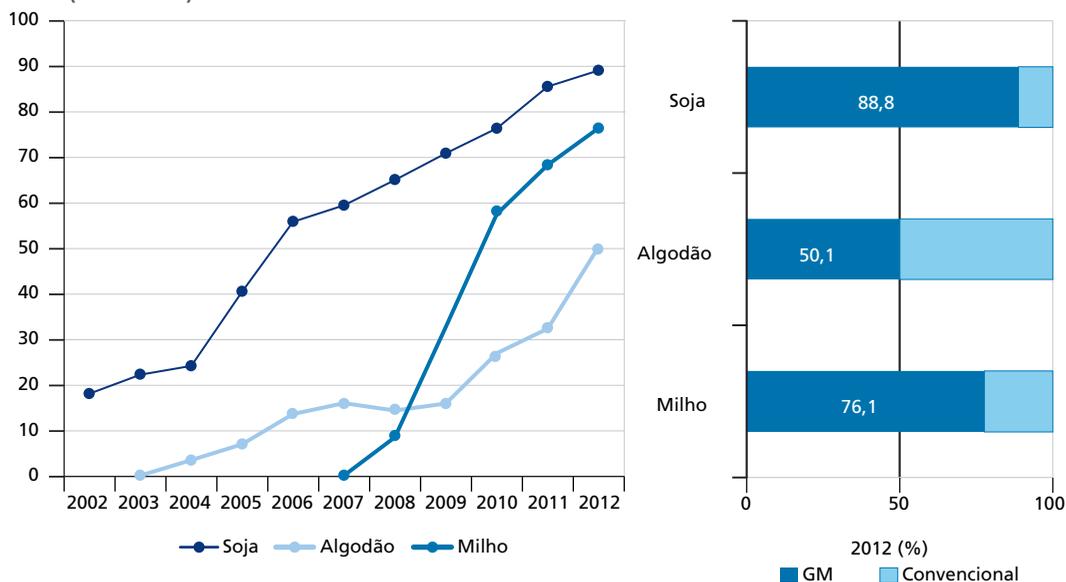


--- Ajuste 95% limite de confiança 95% limite predito

Elaboração do autor.

Por meio do gráfico 9 e da tabela 3, é possível analisar as curvas de difusão de soja, algodão e milho GMs no Brasil. Verifica-se que, após a legalização institucional do plantio, a adoção se mostrou de forma diferenciada, com velocidades distintas nos três cultivos. A incorporação da biotecnologia trouxe benefícios indiretos ao produtor. A simplificação do manejo, a redução de custos e os ganhos de produtividade se mostram essenciais para que haja maior adoção da tecnologia GM. A maior taxa de adoção de sementes GMs é observada na soja, com 24,4 milhões de hectares plantados ou 88,8% da área total em 2012. No que se refere à safra total de milho – verão e inverno –, a adoção de biotecnologia totalizou 12,2 milhões de hectares, o que representou 76,1% da área total nas duas safras. Em 2008, a área plantada de milho transgênico era dez vezes menor, correspondendo a 1,2 milhão de hectares. O milho é o cultivo que apresenta a maior velocidade de adoção, enquanto o algodão ainda apresenta 50% de produção GM, que corresponde a 550 mil hectares plantados.

GRÁFICO 9
Curvas de difusão e porcentagem de adoção de cultivares GMs de soja, milho e algodão – Brasil (2002-2012)



Fonte: Céleres (2012).
Elaboração do autor.
Obs.: cada ano se refere ao período de safra – por exemplo, 2002 = 2002-2003.

A tabela 3 também apresenta os indicadores de produtividade e a produção por regiões, cruzando com os dados de adoção e tipo de tratamento – RI, TH e tecnologias com genes combinados, *stack genes*. De um lado, na soja, tem-se uma prevalência da

semente tolerante a herbicida – quase a totalidade dos produtores de transgênicos; de outro lado, no milho, a resistência a insetos é uma característica importante, dada a grande diversidade de pragas na produção brasileira; porém, tem-se o crescimento do uso dos genes combinados, representando 33,8% da área plantada com sementes GMs ou 5,4 milhões de hectares plantados. Quanto ao algodão, a tolerância a herbicida é a principal característica (26,3%), mas, ao mesmo tempo, tem-se o uso de sementes resistentes a insetos (14,7%) e, em uma escala menor, a tecnologia de genes combinados (9,1%). Ao comparar os indicadores, no caso da soja, a região Sul, que tem a maior taxa de adoção (92%), possui o menor índice de produtividade. Entretanto, quando se compara a produção de algodão e milho, as regiões com maior proporção de adoção são aquelas com os maiores indicadores de produtividade. A porcentagem de adoção no Norte do cultivo de algodão é de 59% e sua produtividade está em 1,40 t por hectare. Em relação ao milho, o Sudeste tem a maior porcentagem de adoção (92,5%), que está associado à maior produtividade, de 5,88 t por hectare.

TABELA 3
Adoção de biotecnologia por cultivo e por regiões – Brasil (2012)

Cultivo	Região	Área (milhões ha)	Produtividade (t/ha)	Produção (milhões t)	Adoção área total (%)				Área com biotecnologia (milhões ha)			
					RI	TH	RI/TH	Total	RI	TH	RI/TH	Total
Soja	Norte	0,78	3,04	2,37	0,0	65,6	0,0	65,6	0,00	0,51	0,00	0,51
	Nordeste	2,40	3,08	7,39	0,0	83,4	0,1	83,5	0,00	2,00	0,00	2,00
	Sudeste	1,92	2,91	5,58	0,0	88,2	0,1	88,3	0,00	1,69	0,00	1,69
	Sul	9,72	2,58	25,08	0,0	92,0	0,0	92,0	0,00	8,94	0,00	8,94
	Centro-Oeste	12,64	3,05	38,58	0,0	88,7	0,0	88,8	0,00	11,21	0,01	11,22
	Brasil	27,46	2,88	79,00	0,0	88,7	0,0	88,8	0,00	24,36	0,01	24,37
Algodão	Norte	0,01	1,40	0,01	17,7	29,5	11,8	59,0	0,00	0,00	0,00	0,01
	Nordeste	0,41	1,40	0,57	17,7	29,1	11,8	58,5	0,07	0,12	0,05	0,24
	Sudeste	0,03	1,45	0,04	24,8	12,5	12,5	49,8	0,01	0,00	0,00	0,01
	Sul	0,0012	0,76	0,0009	10,5	10,5	9,0	30,0	0,00	0,00	0,00	0,00
	Centro-Oeste	0,64	1,39	0,89	12,3	25,1	7,3	44,7	0,08	0,16	0,05	0,29
	Brasil	1,09	1,39	1,52	14,7	26,3	9,1	50,1	0,16	0,29	0,10	0,55
Milho	Norte	0,56	2,54	1,42	7,1	2,1	3,8	13,0	0,04	0,01	0,02	0,07
	Nordeste	3,29	1,74	5,71	17,7	3,0	11,7	32,4	0,58	0,10	0,38	1,06
	Sudeste	2,08	5,88	12,24	49,9	7,5	35,1	92,5	1,04	0,16	0,73	1,92
	Sul	4,59	5,70	26,18	41,8	7,0	41,4	90,3	1,92	0,32	1,90	4,15
	Centro-Oeste	5,51	5,47	30,16	38,0	9,3	43,3	90,6	2,10	0,51	2,39	5,00
	Brasil	16,03	4,72	75,72	35,4	6,9	33,8	76,1	5,68	1,10	5,42	12,20

Fonte: Céleres (2012).
Elaboração do autor.

De acordo com a tabela 4, tem-se um resumo por Unidade da Federação (UF) da adoção total de biotecnologia no Brasil em 2012. Ao analisar por tipo de tratamento, o plantio com semente tolerante a herbicida ocupa a maior parte da área – 25,75 milhões de hectares de um total de 37,12 milhões de hectares no Brasil como um todo. A resistência a insetos representa a segunda maior área com biotecnologia – 5,84 milhões de hectares. Quando se comparam as regiões, o Sul e o Centro-Oeste se apresentam como as principais regiões produtoras, representando 80% da área cultivada com biotecnologia. O Mato Grosso é o principal produtor, com uma área de plantio em torno de 9,95 milhões de hectares, incluindo soja, algodão e milho. O Paraná aparece em segundo lugar, com uma área de 6,78 milhões de hectares, basicamente na produção de soja e milho. Em seguida, tem-se o Rio Grande do Sul, com 5,36 milhões de hectares. Pode-se verificar que, nas UFs em que há uma maior taxa de adoção, nem sempre se observam melhores indicadores de produtividade, o que é o caso do Tocantins, da Bahia e do Rio de Janeiro em suas respectivas regiões. As regiões Centro-Oeste e Sul apresentaram médias de produtividade acima da média nacional, bem como apresentam correspondência entre a região com maior porcentagem de adoção e maior produtividade.

TABELA 4
Total de adoção de biotecnologia por regiões – Brasil (2012)¹

Região	Área (milhões ha)	Produtividade (t/ha)	Produção (milhões t)	Adoção área total (%)				Área com biotecnologia (milhões ha)			
				RI	TH	RI/TH	Total	RI	TH	RI/TH	Total
Roraima	1,35	2,82	3,81	0,8	34,1	0,4	35,3	0,00	0,01	0,00	0,01
Amapá	0,02	3,21	0,06	2,0	0,6	1,0	3,5	0,00	0,00	0,00	0,00
Rondônia	0,005	0,94	0,004	0,8	31,3	0,4	32,5	0,00	0,09	0,00	0,10
Acre	0,30	2,74	0,81	2,0	0,6	1,0	3,5	0,00	0,00	0,00	0,00
Amazonas	0,04	1,91	0,07	0,0	9,5	0,0	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00
Pará	0,02	2,11	0,04	1,4	20,9	0,7	22,9	0,01	0,08	0,00	0,09
Tocantins	0,38	2,69	1,03	5,6	58,8	3,1	67,5	0,03	0,35	0,02	0,40
Norte	0,59	3,04	1,79	3,1	39,1	1,7	43,9	0,04	0,53	0,02	0,59
Maranhão	6,09	2,24	13,67	15,2	45,0	9,6	69,8	0,18	0,52	0,11	0,81
Piauí	1,17	2,50	2,92	14,7	43,3	8,5	66,5	0,13	0,38	0,07	0,58
Ceará	0,87	2,41	2,10	3,0	0,8	1,0	4,9	0,02	0,01	0,01	0,03
Rio Grande do Norte	0,71	1,10	0,78	3,5	1,2	1,4	6,1	0,00	0,00	0,00	0,01
Paraíba	0,10	0,66	0,06	3,1	0,8	1,1	5,1	0,01	0,00	0,00	0,01
Pernambuco	0,19	0,83	0,16	3,0	0,8	1,0	4,8	0,01	0,00	0,00	0,01
Alagoas	0,30	1,30	0,40	3,1	0,8	1,1	5,0	0,00	0,00	0,00	0,00
Sergipe	0,07	0,58	0,04	3,0	0,7	1,0	4,7	0,01	0,00	0,00	0,01
Bahia	0,21	2,05	0,43	12,1	52,6	9,3	73,9	0,30	1,30	0,23	1,83

(Continua)

(Continuação)

Região	Área (milhões ha)	Produtividade (t/ha)	Produção (milhões t)	Adoção área total (%)				Área com biotecnologia (milhões ha)			
				RI	TH	RI/TH	Total	RI	TH	RI/TH	Total
Nordeste	2,48	2,73	6,78	10,7	36,4	7,1	54,3	0,65	2,22	0,43	3,31
Minas Gerais	4,03	4,44	17,87	25,4	49,2	13,9	88,4	0,60	1,16	0,33	2,09
Espírito Santo	2,36	4,61	10,89	55,5	13,4	24,6	93,5	0,02	0,01	0,01	0,04
Rio de Janeiro	0,04	3,39	0,14	57,2	13,4	24,6	95,2	0,01	0,00	0,00	0,01
São Paulo	0,01	2,84	0,03	25,8	42,4	24,4	92,6	0,41	0,68	0,39	1,49
Sudeste	1,61	4,23	6,80	25,9	46,0	18,2	90,2	1,04	1,85	0,73	3,63
Paraná	14,31	3,58	51,26	15,4	55,0	16,7	87,1	1,20	4,28	1,30	6,78
Santa Catarina	7,77	4,12	32,02	23,2	52,0	19,2	94,5	0,23	0,53	0,19	0,95
Rio Grande do Sul	1,01	4,65	4,69	8,9	80,7	7,4	97,0	0,49	4,46	0,41	5,36
Sul	5,53	2,63	14,54	13,4	64,7	13,3	91,5	1,92	9,26	1,91	13,09
Mato Grosso	18,79	3,71	69,64	11,1	62,5	12,6	86,2	1,28	7,22	1,45	9,95
Mato Grosso do Sul	11,54	3,75	43,25	14,2	57,4	16,5	88,2	0,47	1,90	0,55	2,91
Goiás	3,30	3,22	10,63	10,7	70,3	11,1	92,1	0,41	2,71	0,43	3,55
Distrito Federal	3,86	3,96	15,27	14,5	63,4	14,2	92,1	0,01	0,06	0,01	0,09
Centro-Oeste	0,10	5,11	0,49	11,6	63,2	13,0	87,8	2,18	11,89	2,44	16,50
Brasil	44,58	3,51	156,24	13,1	57,8	12,4	83,3	5,84	25,75	5,53	37,12

Fonte: Céleres (2012).

Elaboração do autor.

Nota: ¹ Soja, algodão e milho somados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biotecnologia se baseia em gastos de pesquisas, os quais estão inseridos em um amplo sistema de inovações. A organização e os resultados desse sistema variam entre as diferentes regiões. A articulação entre a adoção e a difusão das inovações, quando bem-sucedida, é fator determinante das trajetórias tecnológicas, as quais promovem o desenvolvimento regional. No caso da moderna agricultura, a estratégia é desenvolver uma semente que reduza completamente o uso de insumos químicos, o que em linhas gerais caracterizaria o cultivo orgânico.

Todavia, o uso excessivo de fertilizantes inorgânicos e de defensivos químicos chama atenção para os efeitos negativos da relação produtiva e ambiental. Diante deste problema, tem-se o seguinte questionamento: é possível desenvolver uma agricultura moderna que descarte o uso de insumos químicos e que minimize o impacto de pragas, doenças e estresses abióticos (seca e frio)? A difusão dos transgênicos se insere

no debate da moderna agricultura, e visa não somente melhorar as variáveis financeiras de produção – aumento da produtividade e redução dos custos –, como também reduzir o uso de insumos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

Este estudo procurou apresentar modelos epidemiológicos de difusão: exponencial de fonte central e logístico de contágio. O exemplo que melhor representa o processo de difusão seria o descrito por uma função logística, que depende basicamente de três parâmetros: *i*) a data da primeira disponibilidade comercial; *ii*) a taxa de adoção; e *iii*) o teto potencial de inovadores no mercado. Embora o trabalho não faça uma discussão aprofundada destes parâmetros, entende-se que o comportamento da curva logística é muito mais complexo, uma vez que os parâmetros determinantes estão em constante movimento ao longo do tempo.

A origem da adoção é determinada pelo lado da oferta tecnológica, enquanto a taxa de desenvolvimento é determinada pelas condições de demanda, curvas que estão fora do ponto de equilíbrio. A redução do custo no tempo, como resultado de um processo de aprendizado e acumulação de conhecimento, influencia na dinâmica do modelo. Tanto a depreciação do capital quanto o surgimento de novas tecnologias alteram a taxa de adoção e, conseqüentemente, da difusão. Ademais, a difusão do conhecimento está diretamente relacionada à capacidade de absorção dos agentes em assimilar e interpretar o novo conhecimento. De qualquer maneira, a formalização matemática dos modelos fornece elementos interessantes de análise e compreensão de como a mudança técnica é gerada e propagada na agricultura, identificando uma fotografia dos últimos anos.

O melhoramento genético exerce ponto central na transformação da agricultura. A produção de grãos, particularmente, conseguiu captar os benefícios do conhecimento técnico-científico do plantio de organismos GMs, que viabilizou estratégias competitivas de empresas dos setores de sementes, de química e de fármacos, buscando oportunidades geradas no campo da biotecnologia. A percepção dos benefícios dos transgênicos vem se comprovando pelo amplo processo de difusão dos cultivos GMs no mundo e, especificamente, nas principais regiões brasileiras.

Particularmente para o Brasil, o desafio era organizar o sistema institucional que promovesse o investimento em pesquisa e desenvolvimento da biotecnologia. De 1997 a 2005, a situação de elevada incerteza jurídica e institucional levou praticamente à

paralisação do esforço de pesquisa e de inovações no mercado de transgenia. De 2005 em diante, com a promulgação da Lei de Biossegurança, a difusão dos transgênicos se acelerou, elevando as porcentagens de adoção da soja, do milho e do algodão no país. Vale ressaltar que, embora a data da primeira comercialização do milho seja posterior à do cultivo de algodão, as economias de escala e de escopo existentes com o plantio de soja mostram um cenário mais favorável à difusão do milho transgênico.

Os resultados mostraram que a maior taxa de adoção do milho está associada aos ganhos de aprendizado da produção de soja, que foi o primeiro cultivo GM a se plantar no Brasil. Existe a possibilidade do plantio de diversas culturas após a primeira safra de soja. O milho é o cultivo mais comum, mas existe, em uma menor escala, a possibilidade de se produzir algodão, como também sorgo e girassol. Portanto, no caso do milho, a produção compartilhada de soja *versus* milho aumenta as economias de escala e de escopo e influenciam na adoção do milho GM, que apresenta a maior taxa de adoção dos últimos anos.

Quando se observam as análises econométricas, a difusão da soja pode ser explicada tanto pelos modelos de fonte central quanto pelos de contágio. No caso do milho, o modelo linearizado de fonte central explica melhor a difusão, enquanto o modelo de contágio é mais bem representado pela análise não linear. Quanto ao algodão, o modelo que melhor representa a difusão é o de contágio; porém, deve-se ressaltar que a escassez de dados compromete uma avaliação mais acurada.

Na produção de milho, fica claro que a maior adoção está associada à maior produtividade. Na soja, talvez por ter sido o primeiro cultivo GM a se introduzir, a relação de maior adoção com maior produtividade não está bem definida. Todavia, a hipótese que se levanta neste caso é que o cultivo GM de soja simplifica o manejo e reduz simultaneamente os custos produtivos, o que estimula o uso contínuo da biotecnologia, ou seja, o custo elevado da semente é mais que compensado pela economia de outros fatores produtivos – menor o uso de herbicidas e redução dos gastos com combustíveis, por exemplo.

Quanto ao algodão, embora as regiões com maior porcentagem de adoção tenham maiores indicadores de produtividade, a ausência de economias de escala e de escopo exige um tempo maior de aprendizado para a adoção completa da biotecnologia, o que é refletido em uma menor porcentagem de adoção no país. Como diretrizes da política pública, posto que a biotecnologia tem contribuição no aumento da renda dos

produtores, na redução do uso de químicos e defensivos na produção de alimentos e na economia dos recursos produtivos da agricultura, seria interessante reduzir as barreiras institucionais ao plantio dos transgênicos, ampliando a proporção de adoção em um menor espaço de tempo.

O Brasil deve manter e desenvolver pesquisas de fronteira no setor agrícola. O país desfruta de posição privilegiada e diversidade ambiental, as quais devem ser exploradas com mais atenção, no intuito de obter vantagens comparativas dinâmicas em relação aos seus competidores diretos. Este fator é de grande relevância quando consideradas as novas janelas de oportunidades, como a transgenia (neste trabalho discutida), bem como a nanotecnologia e a produção de alimentos *nutracêuticos*,¹⁴ as quais, associadas entre si e com campos científicos tradicionais, abrem uma nova fronteira do conhecimento, com grande potencial de transformação e desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- BORGES, I. C. **Os desafios do desenvolvimento da engenharia genética na agricultura: percepção de riscos e regulação**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2010.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. **GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2010**. United Kingdom: PG Economics Ltd., 2012.
- CÉLERES. **Relatório biotecnologia**. Minas Gerais: Céleres, 2012.
- COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of R&D. **The economic journal**, v. 99, n. 397, p. 569-596, 1989.
- _____. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative science quarterly**, v. 35, p. 128-152, 1990.
- DAVID, P. **A contribution to the theory of diffusion**. Stanford: Stanford Center for Research of Economic Growth, 1969. (Texto para Discussão, n. 71).
- DAVIES, S. **The diffusion of process innovation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.
- ESPOSTI, R. Public agricultural R&D design and technological spill-ins: a dynamic model. **Research policy**, v. 31, p. 693-717, 2002.

14. Alimentos nutricionais e farmacêuticos.

FAO – FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. **La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture**. The state of food and agriculture. Roma: FAO, 2000.

FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade estrutural no setor agropecuário brasileiro**: evidências a partir do Censo Agropecuário 2006. Brasília: Ipea, 2012. (Texto para Discussão, n. 1.708).

GASQUES, J. G. *et al.* Total fator productivity in Brazilian agriculture. *In*: FUGLIE, K. O.; WANG, S. L.; BALL, V. E. (Eds.). **Productivity growth in agriculture**: an international perspective. Oxfordshire: CAB International, 2012. cap. 7. p. 145-162.

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

GRILICHES, Z. Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change. **Econometrica**, v. 25, n. 4, p. 501-522, 1957.

IWAI, K. **Schumpeterian dynamics**: I – an evolutionary model of innovation and imitation. New Haven: Yale University, 1981a. 43 p. (Texto para Discussão, n. 602).

_____. **Schumpeterian dynamics**: II – technological progress, firm growth and “economic selection”. New Haven: Yale University, 1981b. 41p. (Texto para Discussão, n. 603).

MANSFIELD, E. Technical change and the rate of imitation. **Econometrica**, v. 29, n. 4, p. 741-766, 1961.

METCALFE, J. S. **Evolutionary economics and creative destruction**. 3. ed. London: Routledge, 2002.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An evolutionary theory of economic change**. Harvard: Harvard University Press, 1982.

POSSAS, M. L.; SALLES-FILHO, S. L. M.; SILVEIRA, J. M. F. An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks. **Research policy**, v. 25, n. 6, p. 933-945, 1996.

SALLES-FILHO, S. L. M. **A dinâmica tecnológica da agricultura**: perspectivas da biotecnologia. 1993. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 1993.

SILVEIRA, J. M. F. Inovação tecnológica na agricultura, o papel da biotecnologia agrícola e a emergência de mercados regulados. *In*: GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; NAVARRO, Z. (Orgs.). **A agricultura brasileira**: desempenho, desafios e perspectivas. Brasília: Ipea, 2010. cap. 4, p. 97-122.

SILVEIRA, J. M. F.; BORGES, I. C. Um panorama da biotecnologia moderna. *In*: SILVEIRA, J. M. F.; POZ, M. E. D.; ASSAD, A. L. D. (Orgs.). **Biotecnologia e recursos genéticos**: desafios e oportunidades para o Brasil. [s.l.]: FINEP, 2004. cap.1, p. 318-357.

SILVEIRA, J. M. F.; BORGES, I. C.; FONSECA, M. G. D. Biotecnologia e desenvolvimento de mercados: novos desafios, novos conceitos? *In*: RAMOS, P. (Ed.). **Dimensões do agronegócio brasileiro**: políticas, instituições e perspectivas. Brasília: MDA, 2007. p. 318-357.

SILVEIRA, J. M. F.; BORGES, I. C.; OJIMA, A. L. R. **The analysis of agricultural biotechnology regulation process in Brazil**. *In*: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR NEW INSTITUTIONAL ECONOMICS, 13. USA: The University of California, 2009.

SILVERBERG, G.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. Innovation, diversity and diffusion: a self-organisation model. **The economic journal**, v. 98, p. 1.032-1.054, 1988.

STONEMAN, P.; IRELAND, N. J. The role of supply factors in the diffusion of new process technology. **Economic journal**, v. 93, p. 65-77, 1983.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Abordagem evolucionária da dinâmica do setor agrícola**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2004.

_____. **Inovação tecnológica e aprendizado agrícola**: uma abordagem schumpeteriana. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2009.

_____. **Technological trajectories and learning in agricultural sector**. *In*: GLOBELICS INTERNATIONAL CONFERENCE, 10. China, 2012.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; SILVEIRA, J. M. F. Modelo evolucionário de aprendizado agrícola. **Revista brasileira de inovação**, v. 10, n. 2, p. 265-300, 2011.

_____. Mudança tecnológica na agricultura: uma revisão crítica da literatura e o papel das economias de aprendizado. **Revista de economia e sociologia rural**, v. 50, n. 4, p. 717-738, 2012.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; VIEIRA, A. C. P. **A inovação na agricultura brasileira**: uma reflexão a partir da análise dos certificados de proteção de cultivares. Brasília: Ipea, 2013. (Texto para Discussão, n. 1.866).

VIEIRA FILHO, J. E. R.; CAMPOS, A. C.; FERREIRA, C. M. C. Abordagem alternativa do crescimento agrícola: um modelo de dinâmica evolucionária. **Revista brasileira de inovação**, v. 4, n. 2, p. 425-476, 2005.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

BARDHAN, P.; UDRY, C. Technological progress and learning. **Development microeconomics**, Oxford University Press, v. 12, p. 152-167, 1999.

FOSTER, A. D.; ROSENZWEIG, M. R. Learning by doing and learning from others: human capital and technical change in agriculture. **Journal of political economy**, v. 103, n. 6, p. 1.176-1.209, 1995.

ANEXOS

ANEXO A

De acordo com a solução encontrada do modelo exponencial, para um intervalo discreto Δt , o crescimento dos usuários da tecnologia é dado por:

$$y(t + 1) - y(t) = N(1 - e^{-\alpha(t+1)}) - N(1 - e^{-\alpha t})$$

Reorganizando, tem-se que:

$$y(t + 1) - y(t) = Ne^{-\alpha t}(1 - e^{-\alpha}) \quad (\text{A.1})$$

Por seu turno, para o mesmo intervalo discreto Δt , pode-se verificar que:

$$y(t + 1) - y(t) = \theta[N - y(t)]$$

Substituindo $y(t) = N(1 - e^{-\alpha t})$ na equação anterior e reorganizando, conclui-se que:

$$y(t + 1) - y(t) = \theta N(e^{-\alpha t}) \quad (\text{A.2})$$

Igualando (A.1) e (A.2), sendo $\forall \alpha \geq 0$, a relação entre θ e α é dada por:

$$\theta = 1 - e^{-\alpha} \quad (\text{A.3})$$

Tomando o limite de θ quando $\alpha \rightarrow 0$ ou $+\infty$, θ assume valores entre (0,1).

ANEXO B

De acordo com a solução encontrada do modelo logístico, para um intervalo discreto Δt , o crescimento dos usuários da tecnologia é dado por:

$$y(t+1) - y(t) = N\{1 + e^{-[\beta(t+1)+k_5]}\}^{-1} - N[1 + e^{-(\beta t+k_5)}]^{-1}$$

Reorganizando, tem-se que:

$$y(t+1) - y(t) = \frac{Ne^{-(\beta t+k_5)}(1-e^{-\beta})}{\{1+e^{-[\beta(t+1)+k_5]}\}[1+e^{-(\beta t+k_5)}]} \quad (\text{B.1})$$

Por seu turno, para o mesmo intervalo discreto Δt , pode-se verificar que:

$$y(t+1) - y(t) = \theta \frac{y(t)}{N} [N - y(t)]$$

Substituindo $y(t) = N[1 + e^{-(\beta t+k_5)}]^{-1}$ na equação anterior e reorganizando, conclui-se que:

$$y(t+1) - y(t) = \frac{\theta N}{1+e^{-(\beta t+k_5)}} \left\{ 1 - [1 + e^{-(\beta t+k_5)}]^{-1} \right\} \quad (\text{B.2})$$

Igualando (B.1) e (B.2), sendo β compreendido no intervalo aberto $(-\infty, +\infty)$, a relação entre θ e β é dada por:

$$\theta = \frac{(e^{\beta}-1)[e^{(\beta t+k_5)}+1]}{(e^{[\beta(t+1)+k_5]}+1)} \quad (\text{B.3})$$

Tomando o limite de θ quando $\beta \rightarrow \pm\infty$, tem-se que θ está compreendido no intervalo $(-1, +1)$. Entretanto, considerando $y(0)$ igual a um valor positivo no intervalo aberto $(0, N)$, a função logística é definida apenas na parte positiva e, nesse caso, θ assume valores entre $(0,1)$.

EDITORIAL

Coordenação

Cláudio Passos de Oliveira

Supervisão

Everson da Silva Moura

Reginaldo da Silva Domingos

Revisão

Clícia Silveira Rodrigues

Idalina Barbara de Castro

Laetícia Jensen Eble

Leonardo Moreira de Souza

Marcelo Araujo de Sales Aguiar

Marco Aurélio Dias Pires

Olavo Mesquita de Carvalho

Regina Marta de Aguiar

Karen Aparecida Rosa (estagiária)

Tauãnara Monteiro Ribeiro da Silva (estagiária)

Wanessa Ros Vasconcelos (estagiária)

Editoração

Bernar José Vieira

Cristiano Ferreira de Araújo

Daniella Silva Nogueira

Danilo Leite de Macedo Tavares

Diego André Souza Santos

Jeovah Herculano Szervinsk Junior

Leonardo Hideki Higa

Capa

Luís Cláudio Cardoso da Silva

Projeto Gráfico

Renato Rodrigues Buenos

*The manuscripts in languages other than Portuguese
published herein have not been proofread.*

Livraria do Ipea

SBS – Quadra 1 - Bloco J - Ed. BNDES, Térreo.

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 3315-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Composto em adobe garamond pro 12/16 (texto)
Frutiger 67 bold condensed (títulos, gráficos e tabelas)
Impresso em offset 90g/m² (miolo)
Cartão supremo 250g/m² (capa)
Brasília-DF

Missão do Ipea

Produzir, articular e disseminar conhecimento para aperfeiçoar as políticas públicas e contribuir para o planejamento do desenvolvimento brasileiro.



ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Secretaria de
Assuntos Estratégicos

