

Concentração industrial e desempenho das firmas na hipótese de cumulatividade tecnológica: um exercício de modelagem

Jaime Moron Macadar*
Marcilene Martins**

Resumo

Este artigo propõe um modelo que formaliza a relação entre gastos acumulados em P&D e trajetórias tecnológicas, associando o sucesso corrente no desenvolvimento e/ou incorporação de novas técnicas à coerência das firmas quanto aos gastos em P&D realizados com êxito no passado. A hipótese assumida é de que ao se decidirem por investimentos inovativos, as firmas terão preferência por determinadas trajetórias tecnológicas onde acumulam um maior comprometimento pretérito de gastos com P&D e onde esses investimentos tenham produzido melhores resultados. O modelo demonstra que as trajetórias tecnológicas adotadas pelas firmas condicionam o desempenho em produtividade e também o grau de concentração da indústria.

Palavras-chave: Concentração industrial. Difusão tecnológica. Modelo de inovação.

* Graduado em Ciências Econômicas pela UFRGS. Email: jaime@macadar.com.br

** Professora Adjunta do Departamento de Economia da UFRGS. Email: marcilene.martins@ufrgs.br

Introdução

Inovação pode ser definida como uma modificação das rotinas produtivas e/ou organizacionais sob as quais as firmas operam e através das quais são geradas “novas combinações produtivas”¹. Compreender a inovação como sendo resultado da modificação das rotinas vigentes em dado momento, assinala a ideia de que os esforços inovativos feitos no passado condicionam as rotinas tecnológicas vigentes, a possibilidade de modificá-las e os desenvolvimentos tecnológicos futuros, ou seja, o caráter *path-dependent* da dinâmica tecnológica. Por sua vez, as rotinas vigentes encerram nelas as trajetórias adotadas pelas firmas na solução dos problemas enfrentados no passado, bem como os sucessos previamente acumulados em suas atividades de busca e seleção tecnológicas.

Explicar o processo de mudança tecnológica implica compreender como surgem novas tecnologias, como elas se difundem e tendem a afetar o desempenho das firmas e a conformação e evolução das estruturas industriais. Assumida a hipótese de que tal mudança configura uma dinâmica evolucionária e de que, como tal, ocorre sob a forma de processos evolutivos cumulativos e não lineares, explicá-la em suas causas e efeitos requer a identificação de regularidades ou tendências na dinâmica inovativa. Os conceitos de paradigma e de trajetórias tecnológicas podem ser bastante úteis a esse objetivo.

O paradigma tecnológico define, simultaneamente, um conjunto de artefatos tecnológicos e um conjunto de heurísticas – um “padrão” de solução de problemas baseados em princípios selecionados das ciências naturais – sobre como produzi-los e/ou aperfeiçoá-los. Ao estabelecer um determinado padrão dominante de solução tecnológica, o paradigma tecnológico delimita o escopo dos esforços inovativos subsequentes, sinalizando as oportunidades e possibilidades de exploração de desenvolvimentos tecnológicos futuros e imprimindo ao esforço inovativo determinadas direções ao invés de outras, configurando, assim, o que se denominam trajetórias tecnológicas, cujo significado essencial é o de circunscrever a direção da evolução *natural* do progresso tecnológico ao longo de *trade-offs* econômicos e tecnológicos definidos por um paradigma tecnológico (DOSI, 1988, p. 225).

O conceito de trajetória tecnológica remete ao de cumulatividade tecnológica, que exprime a ideia de que a direção assumida pelos processos de busca e seleção tecnológica não é aleatória, ao contrário, é *path-dependent*, porque condicionada pelas soluções inovativas selecionadas e experimentadas pelas firmas em períodos anteriores, a depender da avaliação dessas últimas quanto ao grau de oportunidade e as condições de apropriabilidade associados a cada uma das possíveis alternativas de *solução tecnológica*.

Com o objetivo de contribuir para uma formalização do conceito de cumulatividade tecnológica que seja consistente com a incorporação dos seus efeitos sobre a capacidade e o desempenho inovativo das firmas e a dinâmica industrial, este artigo propõe um modelo que estabelece uma relação formal entre a magnitude dos dispêndios em P&D e o grau de coerência das firmas quanto à direção dos seus investimentos inovativos, fazendo com que os gastos acumulados em P&D em trajetórias tecnológicas definidas se traduzam em maiores chances de sucesso inovativo no futuro. Tomou-se emprestados de Nelson e Winter (2005), além da definição conceitual do regime de tecnologia cumulativa, uma parcela significativa da estrutura formal do regime de base científica, com a diferença, porém, de que o modelo aqui proposto modifica as equações utilizadas pelo modelo Nelson e Winter para descrever o processo de busca tecnológica, de modo a fazer com que a probabilidade de a firma acessar e explorar com sucesso uma nova oportunidade tecnológica em determinada trajetória tecnológica passe a depender de forma determinante do montante de gasto em P&D acumulado no passado e dos sucessos anteriormente alcançados nessa trajetória.

Além desta introdução, compõem o artigo mais três seções. A segunda seção discute o conceito de regimes tecnológicos e a hipótese de cumulatividade tecnológica. Na terceira seção formaliza-se o modelo proposto e apresentam-se os resultados das simulações. Na quarta seção apresentam-se as considerações finais do artigo.

Referencial teórico: regimes tecnológicos e a hipótese de cumulatividade tecnológica

O tema da relação entre mudança tecnológica e dinâmica econômica foi pioneiramente explorado por Richard Nelson e Sidney Winter (2005), em sua obra seminal *Uma Teoria Evolucionária da Mudança Tecnológica*, originalmente publicada em 1982, que não apenas contribuiu para estabelecer as bases de uma interpretação evolucionária dessa relação, como acabou por definir grande parte da agenda subsequente do debate teórico nessa área. Naquele estudo, parte-se de uma concepção de concorrência que a descreve nos termos de um processo de Markov, vale dizer, são assumidas as hipóteses de que o ambiente no qual são tomadas as decisões econômicas é não ergódico e não estacionário, e da inexistência de uma conexão causal linear entre o passado e o futuro². A primeira hipótese equivale a reconhecer que haverá, sempre, ganhadores e perdedores no processo de concorrência. A segunda implica admitir de que os agentes podem cometer erros de previsão, de forma sistemática.

Assumindo que os conjuntos de escolhas são incertos, atribui-se ao comportamento de cada firma um componente idiossincrático que molda suas reações de forma particular em relação aos mesmos sinais de mercado enfrentados pelas demais firmas. Isso implica que se deve encontrar uma diversidade de comportamentos entre as firmas em situações reais, especialmente naquelas que divergem quanto ao nível de investimento em P&D inovativo e imitativo, grau de agressividade dos investimentos e tamanho de mercado. Espera-se também que o ambiente de seleção incentive e promova condutas tecnológicas mais empreendedoras por parte daquelas firmas que fizeram escolhas certas, eliminando ou forçando o “ajustamento” daquelas que adotaram constantemente práticas equivocadas. O resultado final aponta para uma estrutura de mercado tendencialmente concentrada e caracterizada pela existência de assimetrias de desempenho entre firmas, ganhadoras e perdedoras, de caráter cumulativo e não facilmente elimináveis, mesmo que nas condições iniciais todas estivessem muito próximas uma das outras (NELSON; WINTER, 2005, p. 401).

Descrevendo esse processo nos termos de uma concorrência schumpeteriana, pode-se entrever que a competição na indústria será marcada pela presença de firmas inovadoras, continuamente empenhadas no desenvolvimento de novos produtos ou processos produtivos, e que ao serem bem sucedidas nesse intento virão aumentar o hiato tecnológico e competitivo que as separa das firmas rivais, até serem finalmente alcançadas e eventualmente ultrapassadas por essas últimas, podendo-se esperar, a partir daí, e uma vez admitida a hipótese da entrada de novas firmas inovadoras na indústria, que as inovadoras estabelecidas acabem por enfrentar um processo de erosão das suas vantagens tecnológicas e competitivas; o que ocorrerá tanto mais rapidamente quanto maior o potencial inovador das firmas novas entrantes e maior a capacidade de imitação das firmas estabelecidas “inovadoras” retardatárias.

A presença em caráter determinante de firmas inovadoras na indústria implica tratar-se de um ambiente competitivo schumpeteriano. Considerando-se adicionalmente as hipóteses: i) da presença de barreiras à entrada e custos de saída na indústria; ii) do caráter cumulativo das capacitações tecnológicas internamente às firmas; iii) de uma distribuição assimétrica dessas capacitações entre as firmas de uma indústria; pode-se vislumbrar o predomínio de grandes firmas (estabelecidas) no comando das inovações e na apropriação dos lucros “monopólicos” inerentes a esse tipo de empreendimento. No longo prazo, a expectativa é de um crescimento assimétrico e cumulativo da produtividade, dos lucros e do market-share em favor das firmas inovadoras, além de um aumento da concentração relativa do mercado a nível da indústria.

O desdobramento lógico dessa análise é o de que as características do ambiente de concorrência e da dinâmica da inovação se condicionam mutuamente para determinar

um padrão específico de interação entre mudança técnica e estrutura de mercado, que a teoria neoschumpeteriana busca caracterizar nos termos de uma dinâmica evolucionária. Tal propósito coloca para a teoria a necessidade de apreender os mecanismos por meios dos quais a mudança tecnológica se faz condicionada pelas características do ambiente competitivo no qual as firmas se inserem, e com base no qual operam e decidem suas estratégias de inovação ou imitação.

Um passo essencial nessa direção consiste em caracterizar o processo por meio do qual as firmas buscam por novos conhecimentos e/ou habilidades inovativas, ou seja, investigar a natureza do conhecimento relevante à inovação e as fontes e condições de acesso das firmas a esse novo conhecimento. As firmas podem olhar para dentro de si mesmas quando buscam por novos conhecimentos ou habilidades inovativas – os esforços da firma em gastos em P&D e promoção de inovações organizacionais podem fazer a diferença, nesse caso. Pode ocorrer também que uma firma busque em outras firmas, engajadas no mesmo tipo de atividade que ela, os novos conhecimentos de que precisa para inovar – tratar-se-ia aqui mais propriamente de inovações imitativas. Por fim, novos conhecimentos podem se originar do ambiente externo à firma individual ou indústria em particular – como no caso, por exemplo, em que o conhecimento relevante à inovação depende antes e/ ou em maior grau do progresso das ciências em geral (WINTER, 1984, p. 291).

Entre os elementos principais que definem o processo de busca tecnológica incluem-se os aspectos da importância relativa das diferentes fontes de conhecimento; a natureza e amplitude da base de conhecimento relevante ao processo produtivo; o grau em que a pesquisa básica levada a cabo com sucesso pode ser facilmente convertida em pesquisa aplicada, ou vice-versa; a importância da P&D como insumo para inovação; a facilidade ou dificuldade intrínseca (à tecnologia) com que determinada inovação pode ser imitada. Tecnologias e indústrias distintas diferem de maneira significativa com respeito à forma de manifestação desses elementos. Daí o sentido de se afirmar que as características do processo de busca tecnológica definem um particular ambiente de conhecimento e, de forma correspondente, um particular regime tecnológico (WINTER, 1984, p. 293).

Nos modelos de inovação apresentados em Nelson e Winter (2005), distinguem-se dois regimes tecnológicos, os quais representam claramente “(...) duas especificações diferentes da distribuição a partir da qual uma firma retira sua amostra se fizer uma escolha de inovação” (idem, p. 410). O primeiro deles é o regime de base científica, que descreve uma inovação do tipo não cumulativa e universal, o segundo é o regime de tecnologia cumulativa, onde a inovação é definida como sendo cumulativa e específica a aplicações industriais definidas. Ainda segundo aqueles autores, “esses

diferentes regimes de mudança tecnológica implicam relações bastante diversas entre o crescimento da produtividade do ramo e seu dispêndio em P&D” (idem, ibidem).

O regime de base científica considera que as possibilidades tecnológicas disponíveis às firmas são determinadas externamente à indústria, em função dos avanços da ciência básica gerados nos centros de pesquisa, laboratórios e universidades. Decorre dessa hipótese a proposição de que “...o que a firma obtém hoje como resultado de uma escolha de inovação independe do que ela pode ter encontrado no ano passado ou no ano retrasado” (NELSON; WINTER, 2005, p. 411). De modo que as atividades de P&D das firmas podem ser interpretadas como esforços para acompanhar um conjunto mutável de novas possibilidades tecnológicas criadas externamente a elas.

A definição do regime tecnológico denominado de *tecnologia cumulativa* mantém os pressupostos teóricos e hipóteses operacionais básicas do regime de base científica, exceto no que diz respeito às decisões de busca tecnológica das firmas, uma vez que estabelece que as possibilidades tecnológicas disponíveis em qualquer dado período dependem das técnicas vigentes nas firmas naquele período, e que ao fazerem gastos de P&D inovadores, as firmas não apenas estarão garantindo sua ascensão através do conjunto de possibilidades tecnológicas, como isto também envolverá algum grau de aprimoramento das técnicas vigentes (NELSON; WINTER, 2005, p. 482). Assim, diferentemente do que especifica o regime de *base científica*, sob o regime de *tecnologia cumulativa* “...a distribuição dos resultados de P&D inovadores está centrada na produtividade vigente de uma firma e não há determinação exógena das possibilidades tecnológicas (...) Um sucesso de P&D consegue para a firma não apenas uma técnica melhor, como também uma base elevada para o próximo período de busca” (NELSON; WINTER, 2005, p. 411).

Como se pode notar, o regime de base científica exclui qualquer possibilidade de cumulatividade tecnológica, já que o progresso tecnológico é determinado exogenamente à indústria, ao passo que o regime de tecnologia cumulativa introduz uma noção de cumulatividade, que se expressa na vinculação entre probabilidade de sucesso tecnológico no futuro e tecnologias acessadas pelas firmas no período corrente. O ponto que se quer ressaltar, no entanto, é que tal noção de cumulatividade tecnológica descrita pelo regime de tecnologia cumulativa incorpora de maneira ainda muito parcial o caráter *path-dependent* dos processos de busca e seleção tecnológicas, e isso porque, fundamentalmente, desconsidera que também as trajetórias tecnológicas experimentadas pela firma no passado influenciam sua capacidade presente de acessar ou desenvolver, hoje e no futuro, novos conhecimentos e técnicas produtivas.³

Formulação do modelo

O modelo proposto neste artigo relaciona a concentração industrial e o desempenho das firmas à hipótese de cumulatividade tecnológica. Nesse modelo, emprega-se o termo cumulatividade tecnológica com o significado de que os sucessos de inovação obtidos no passado aumentam as chances de sucesso futuro naquela(s) trajetória(s) onde estes ocorreram, refletindo o compromisso de investimento e o grau de coerência da firma com determinadas trajetórias experimentadas no passado. Com isso, incorpora-se a hipótese de que os gastos realizados em P&D e os esforços de aprendizado alocados em determinada trajetória produzem efeitos que se acumulam com o tempo e imprimem às trajetórias de inovação das firmas um caráter *path-dependent*. Ressalta-se, por fim, que tal noção de cumulatividade encerra um mecanismo de realimentação tecnológico, o que significa um avanço em relação ao que propuseram Nelson e Winter (2005) em sua caracterização do processo de busca tecnológica.⁴

Equações do modelo

Incorporando a especificação proposta por Almeida (2004, p. 31-35), optou-se por estruturar o modelo sob a forma de três conjuntos de equações. As equações de produção, que formalizam as variáveis de desempenho da empresa, como quantidades produzidas, preço, lucro unitário, produtividade e demanda. As equações que especificam as regras definidas para o comportamento do investimento. Finalmente, as equações de busca tecnológica, que formalizam as etapas relacionadas aos processos de escolha e incorporação de novas tecnologias.

Equações de produção

A produtividade do capital é expressa pela quantidade produzida por unidade de capital, então, temos que:

$$A_{it} = \frac{Q_{it}}{K_{it}}, \text{ ou} \tag{1}$$

$$Q_{it} = A_{it} \cdot K_{it}$$

Onde Q_{it} , A_{it} e K_{it} são, respectivamente, a quantidade, a produtividade e o capital da empresa i no tempo t .

O produto da indústria é a soma do produto das firmas individuais, assim:

$$Q_t = \sum Q_{it} = \sum A_{it} \cdot K_{it} \quad (2)$$

Quanto ao preço (P_t), considera-se que seja determinado pela produção da indústria em conjunto, assumindo um mesmo valor para todas as firmas. Assim, temos que a função preço⁵ será dada por:

$$P_t = D(Q_t) \quad (3)$$

Tal que $P_t \in [0, D(0)]$ em que $D(0) < \infty$ e $\lim_{Q \rightarrow \infty} D(Q) = 0$

Os lucros unitários (Π_{it}) são determinados a partir da diferença entre a receita por unidade de produto e os custos totais unitários. Esses últimos são definidos pelos custos de produção e gastos em P&D, distinguindo-se ainda entre P&D inovativo e imitativo. A equação dos lucros unitários é definida como segue:

$$\Pi_{it} = P_t \cdot A_{it} - \frac{1}{K_{it}} (C + G_{it}^m + G_{it}^n) \quad (4)$$

Onde C é o custo unitário de produção, G_{it}^m , o gasto em P&D imitativo, e G_{it}^n , o gasto em P&D inovativo da firma i no tempo t .

Equações de investimento

As decisões de investimento se referem aos gastos necessários para repor a depreciação da capacidade instalada e aos gastos para ampliá-la, supondo, no caso, que a nova tecnologia seja empregada em toda a produção.

O estoque de capital acumulado ao longo do tempo é uma função da taxa investimento I_{it} , da taxa de depreciação δ e do estoque de capital K_{it} do período anterior, como segue:

$$K_{i(t+1)} = K_{it} (1 + I_{it} - \delta) \text{ em que} \quad (5)$$

$$I_{it} = \max\{0, \min(I_{it}^D, I_{it}^F)\} \text{ tal que} \quad (6)$$

$$I_{it}^F = \delta + \Pi_{it} (1 + \varepsilon) \text{ e} \quad (7)$$

$$I_{it}^D = 1 + \delta - \left(\frac{2 - s_{it}}{\rho(2 - 2 \cdot s_{it})} \right) \quad (8)$$

A equação (6) estabelece limites para a decisão de investimento. O limite inferior não pode ser negativo e o limite superior não pode ser maior que I_{it}^F , que é determinado pela restrição financeira imposta pela disponibilidade de crédito bancário, medida pelo número máximo de unidades de crédito que uma firma pode dispor (ρ). Em seu limite inferior, a taxa de investimento ρ não pode ser negativa. As firmas têm a possibilidade de escolher entre estes dois limites, de acordo com o grau de agressividade (ρ) característico do ramo de indústria onde atuam. Entretanto, à medida que a participação de mercado de uma determinada firma aumenta (Γ), atribui-se uma resistência por parte dessa firma em prosseguir com os investimentos, a fim de evitar que o preço dos produtos caia demasiadamente.

Equações de busca tecnológica

Em termos algébricos, partimos de um número Γ de trajetórias tecnológicas existentes no ramo, e definimos o crescimento da produtividade como sendo representado da seguinte forma:

$$A_{t,\Gamma} = A_{(t-1),\Gamma} + \gamma \quad \forall \Gamma = 1, \dots, n \quad (9)$$

Onde $A_{t,\Gamma}$ é a produtividade alcançada no período t para a trajetória Γ , e γ é um acréscimo de produtividade com valor aleatório.

Cada sucesso inovativo obtido em determinada trajetória tecnológica vem somar-se aos sucessos anteriores associados à mesma trajetória. Temos, assim, a definição de uma segunda função, representando a *trajetória acumulada* e específica de cada firma.

$$A_{i,t,\Gamma} = A_{i,(t-1),\Gamma} + \gamma \quad \text{se} \quad \begin{cases} \gamma > 0 \\ \Pr(d_{i,t,\Gamma}^n = 1) \end{cases} \quad (10)$$

Sendo que $A_{i,t,\Gamma}$ é a produtividade específica da firma i , no período t , para a trajetória Γ .

Sendo $Ga_{i,t,\Gamma}^n$ o gasto acumulado em inovação bem sucedida na trajetória Γ , a probabilidade $\Pr(d_{i,t,\Gamma}^n = 1)$ de encontrar uma nova aplicação tecnológica, depende do gasto acumulado com a inovação bem sucedida, e do ajuste de a^n .

$$\Pr(d_{i,t,\Gamma}^n = 1) = a^n \cdot Ga_{i,t,\Gamma}^n \quad (11)$$

A probabilidade de encontrar uma nova aplicação tecnológica, em determinada trajetória, depende do gasto acumulado no passado e dos sucessos anteriormente alcançados nessa trajetória:

$$Ga_{i,(t+1),\Gamma}^n = Ga_{i,t,\Gamma}^n + G_{i,t,\Gamma}^n \text{ se } \tilde{A}_{i,t}^n = A_{i,t,\Gamma} \quad (12)$$

Em que $\tilde{A}_{i,t}^n$ corresponde à melhor técnica proveniente de gastos com inovação, entre aquelas disponíveis e acessíveis à firma nas diversas trajetórias tecnológicas (ver Equação 13).

Observe que como o gasto acumulado em P&D depende do sucesso em determinada trajetória, o gasto em si é na realidade uma medida do sucesso anterior acumulado nessa trajetória. É importante notar que essa especificação dada ao gasto acumulado em P&D possui um significado absolutamente diferente daquele atribuído pelo modelo de Nelson e Winter (1982, cap. 12), onde a magnitude do gasto realizado em um período de tempo t define inteiramente a probabilidade de sucesso inovativo neste (e apenas neste) período (t).

A nova técnica produtiva será acessada por determinada firma de acordo com o sucesso inovativo alcançado em qualquer dada trajetória, que depende dos sucessos passados, expressos pelo gasto em P&D bem sucedido acumulado cada trajetória. Assim, cada firma possui no período t, o acesso a determinadas técnicas produtivas, que podem ser ordenadas de acordo com os ganhos de produtividade a que estão associadas. O critério de escolha da técnica é a melhor produtividade disponível para a firma em cada trajetória tecnológica, como segue:

$$\tilde{A}_{i,t}^n = \text{Max}\{A_{i,t,1}, A_{i,t,2}, \dots, A_{i,t,\Gamma} \dots A_{i,t,n}\} \quad \forall \Gamma = 1, 2, \dots, n \quad e \quad \Gamma \in \mathbb{N} \quad (13)$$

Assume-se, por fim, que as firmas que obtiveram maior número de sucessos inovativos em determinada trajetória tecnológica, reúnem maior capacidade de acessar os avanços da tecnologia nessa trajetória, devido à especificação de que os gastos em P&D exercem efeito cumulativo sobre as chances de sucesso, conforme expresso na equação abaixo:

$$A_{i,t,\Gamma} = A_{i,(t-1),\Gamma} + \gamma \quad \text{se} \quad \begin{cases} \gamma > 0 \\ \Pr(d_{i,t,\Gamma}^m = 1) = 1 \\ \Pr(d_{1,t,\Gamma}^n = 1 | d_{2,t,\Gamma}^n = 1 | \dots | d_{j,t,\Gamma}^n = 1) = 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (14)$$

Adicionalmente, um investimento corrente em P&D imitativo permite às firmas acessar as tecnologias desenvolvidas com sucesso por outras firmas do ramo naquele período. A probabilidade $\Pr(d_{i,t,\Gamma}^m = 1)$ de ter sucesso na imitação de uma tecnologia descoberta por outra firma, depende do gasto corrente em P&D imitativo ($G_{i,t,\Gamma}^m$) e do parâmetro de ajuste a^m :

$$\Pr(d_{i,t,\Gamma}^m = 1) = a^m \cdot G_{i,t,\Gamma}^m \quad (15)$$

Definição das variáveis e parâmetros das simulações

A fim de testar o modelo acima formulado, foram feitos alguns exercícios de simulação. As variáveis selecionadas para as simulações foram: índice de concentração de Herfindahl, produtividade da melhor prática, produtividade média, hiato da produtividade média e gasto acumulado em P&D inovativo. Foram realizadas simulações com essas variáveis sendo relacionadas a quatro tipos de estruturas de indústria, definidas conforme o número de firmas, a saber: 2, 4, 8, 16 e 32 firmas, e supondo que, independentemente do tipo de estrutura, nas condições iniciais do modelo, as firmas operavam em condições idênticas de preço, parcela relativa de mercado, taxa de investimento (de capital) e volume de gastos em P&D como proporção do valor das vendas.

Optamos por uma estratégia de definição dos valores dos parâmetros e os níveis dos fatores experimentais das simulações, que segue muito de perto as especificações do modelo de base científica, de Nelson e Winter. Procedemos assim com o intuito de garantir que tais valores estivessem, minimamente, “dentro da quadra” – para usar a terminologia daqueles autores –, ou, vale dizer, que representassem a ocorrência de eventos em alguma medida factíveis na realidade. Cabem aqui alguns comentários sobre tais definições numéricas:

- i) os parâmetros da função de preços (a e b) foram calibrados de modo a garantir uma taxa de investimento inicial, e por extensão, de lucro, compatível com a necessidade de previsão de gasto com depreciação de capital fixo;
- ii) o estoque de capital (K) de cada firma no primeiro período foi definido de modo que para cada estrutura de indústria, o investimento líquido desejado (X) fosse zero;
- iii) uma vez que uma margem menor sobre o custo de produção induz um investimento positivo quando a participação de uma firma no mercado é pequena, se comparada com uma participação grande, o capital total da indústria será inicialmente maior e o preço inicial menor, quanto maior for o número de

- firmas. O capital total (da indústria) foi definido como sendo inicialmente maior e o preço inicial menor, quanto maior o número de firmas na indústria;
- iv) os valores do grau de agressividade do investimento da firma (ρ) foram definidos com base em uma análise da sensibilidade do modelo em termos da relação entre esta variável e a taxa de concentração da indústria, respeitada a condição estabelecida pelo modelo de que se $\rho < 1$ não haverá sequer a reposição do capital físico disponível no período anterior;
 - v) o ritmo de inovações foi ajustado para que haja um crescimento médio da produtividade de 4% ao ano em todas as trajetórias;
 - vi) a probabilidade de sucesso em P&D inovador em cada trajetória foi estabelecida de modo que, nas condições iniciais, houvesse uma média de dois achados inovadores por ano.

R_n e R_m são coeficientes que, aplicados ao estoque de capital da firma, definem o montante de gasto disponível para investimentos em P&D inovativo (G^n) e imitativo (G^m), respectivamente. Os valores de R_n e R_m foram definidos de tal forma que a razão entre P&D e vendas seja de aproximadamente 0,12; um valor razoável para os padrões empíricos.

Os valores dos principais parâmetros do modelo são mostrados na tabela 1, abaixo.

Tabela 1 – Valores estabelecidos para os principais parâmetros do modelo

	Número de firmas (estrutura da indústria)				
	2	4	8	16	32
a	-1,7	0,71	0,71	-0,71	0
b	149,98	75,57	43,96	33,97	74,71
K	139,58	89,7	48,85	25,34	12,89
ρ	2	1,5	1,5	1,45	1,3
R_n	0,05%	0,16%	0,61%	2,77%	23,07%
R_m	0,05%	0,16%	0,61%	2,77%	23,07%

Fonte: a e b foram definidos pelos autores, com base nas premissas do modelo; K, R_n e R_m foram obtidos em Winter (2005, pp.420-422); ρ foi extraído de Almeida (2002).

Na sequência, o modelo algébrico definido na seção 2.2 foi transposto para a planilha eletrônica Excel, e então realizada a simulação computacional dos valores especificados para os parâmetros do modelo, conforme tabela 1. As simulações foram rodadas pelo programa *Cristal Ball*, um software de simulação que utiliza como “plataforma de trabalho” a planilha Excel. No total foram 1000 rodadas, com duração de 101 períodos cada (cem períodos depois das condições iniciais). Um período foi definido como correspondendo a $\frac{1}{4}$ de ano, portanto, as rodadas de simulações cobriram 25

anos, sendo os valores apurados no último período (de número 101), correspondentes ao valor médio de todas as interações.

Apresentação e discussão dos resultados das simulações

A apresentação e discussão dos resultados obtidos nos experimentos de simulação terão a seguinte ordem: grau de concentração e desempenho em produtividade para indústrias de diferentes tamanhos (números de firmas); evolução do grau de concentração industrial; efeito do grau de agressividade dos investimentos das firmas sobre a concentração industrial; desempenho em produtividade, *market-share* e lucratividade das firmas, com referência a quatro distintas trajetórias tecnológicas.

Os resultados das simulações mostrando os valores médios do índice de concentração e produtividade da indústria, no último período das rodadas, são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Grau de concentração e desempenho em produtividade da indústria (valores médios das rodadas obtidos no último período da simulação)

	Número de firmas na indústria				
	2	4	8	16	32
Hiato da produtivid. média	56,8	48,1	20,2	21,9	14,3
	<i>34,0</i>	<i>28,1</i>	<i>14,9</i>	<i>17,7</i>	<i>14,9</i>
Índice de concentração Herfindahl	55,3	36,7	28,9	33,5	25,5
	<i>1,4</i>	<i>7,6</i>	<i>8,8</i>	<i>6,8</i>	<i>5,2</i>
Média da produtividade (indústria)	0,15	0,32	0,65	0,64	0,80
	<i>0,09</i>	<i>0,20</i>	<i>0,39</i>	<i>0,37</i>	<i>0,44</i>
Produtividade da melhor prática	0,72	0,80	0,85	0,86	0,94
	<i>0,42</i>	<i>0,47</i>	<i>0,49</i>	<i>0,48</i>	<i>0,49</i>

Nota: Os valores na segunda linha (em itálico) referem-se ao desvio padrão da média calculada.

Fonte: Elaboração dos autores, com resultados da simulação computacional.

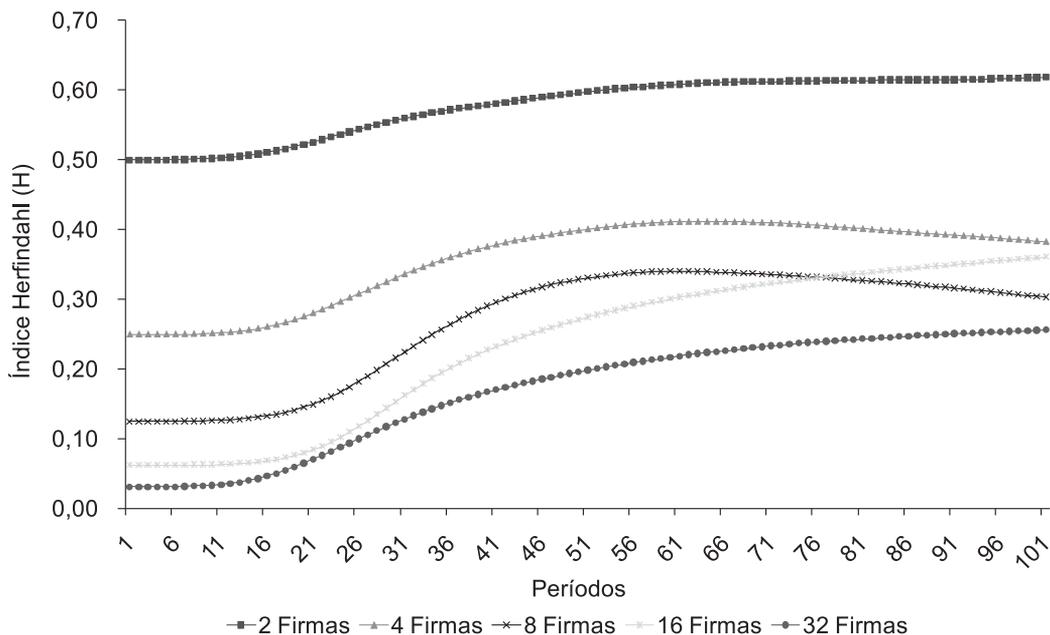
Encontrou-se uma tendência ao aumento, em termos absolutos, da produtividade da melhor prática, à medida que aumenta o número de firmas na indústria. A produtividade média apresentou essa mesma tendência de crescimento. Em combinação, o hiato de produtividade diminui com o aumento do número de firmas na indústria, indicando que quanto menos (mais) concentrada a indústria menor (maior) a distância relativa entre as firmas mais e menos produtivas.

Alude-se com este último resultado, indiretamente, o fato de que pelas especificações das equações de busca tecnológica, o aumento per si do número de firmas na

indústria oferece maiores chances de sucesso inovativo, uma vez que quanto maior for esse número, maiores serão as chances de que as trajetórias tecnológicas mais produtivas sejam mais frequentemente acessadas, de modo que o efeito final esperado é o de que a indústria em seu conjunto tende a se tornar, na média, mais produtiva.

Nota-se também, com isso, que o modelo proposto consegue incorporar elementos de variedade tecnológica e diversidade comportamental, no sentido de que um grande número de firmas apostando em direções variadas, aumenta a possibilidade de que a indústria como um todo encontre as melhores soluções produtivas, que poderão vir a ser difundidas para um grupo maior de firmas. Reflete também a incorporação do caráter *path-dependent* da evolução tecnológica. Assim, enquanto a variedade tecnológica e diversidade comportamental acentuam a tendência de as firmas se diferenciarem umas das outras, criando um ambiente mais diversificado em termos de soluções inovativas, o caráter *path-dependent* da dinâmica tecnológica imprime à escolha da técnica uma vinculação determinante com as trajetórias inovativas experimentadas no passado.

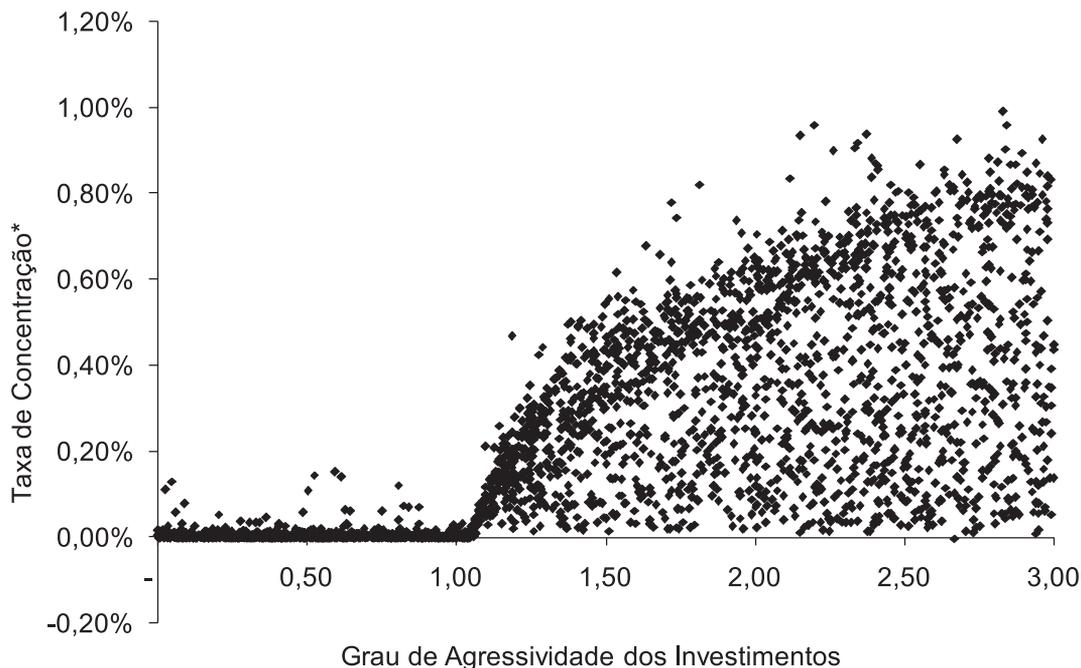
A Figura 1 mostra a evolução da concentração do ramo, medida pelo índice de Herfindahl, na hipótese de cinco estruturas iniciais da indústria (2, 4, 8, 16 e 32 firmas). Evidencia-se que, independente da estrutura e grau inicial de concentração na indústria, a tendência de longo prazo foi o aumento generalizado da concentração, sendo a taxa desse aumento maior quanto menor o grau de concentração inicial da indústria. Observa-se que essa tendência ocorrera com mais intensidade no caso das estruturas intermediárias (8 e 16 firmas). Por volta do septuagésimo quinto período, a evolução do índice de Herfindahl aponta, como regra, para uma situação de estabilidade; a exceção foi o caso da estrutura com 8 firmas, que sinaliza, a partir de então, para uma leve tendência de queda naquele índice. A tendência ao aumento da concentração é um resultado compatível com a hipótese mais geral de que mesmo indústrias mais competitivas, quando submetidas ao efeito do progresso técnico, acabam por engendrar forças que levam à concentração.



Fonte: Elaboração dos autores, com resultados da simulação computacional.

Figura 1 – Evolução da concentração na indústria medida pelo índice Herfindahl

O modelo proposto (ver equações de investimento) associa a concentração industrial ao efeito de três variáveis principais: a proporção entre gastos de P&D e capital, expressa em a^n , a proporção de gastos com P&D imitativo, expressa em a^m e o grau de agressividade dos investimentos, expresso no parâmetro ρ . Através de simulações, constatou-se que a variável que mais influenciou a evolução do grau de concentração foi a agressividade dos investimentos, conforme ilustrado na Figura 2. A explicação para este resultado está na associação positiva entre nível de capitalização das firmas e disponibilidade de recursos para investimento em P&D e concentração industrial. Nas situações em que o parâmetro ρ assume valores inferiores a 1, não há sequer a reposição plena do capital, inviabilizando investimentos inovativos e, com isto, inibindo a concentração.



(*) Valores calculados sobre a reta ajustada da evolução do índice de Herfindhal.

Fonte: Elaboração dos autores, com resultados da simulação computacional.

Figura 2 – Efeito do Grau de Agressividade dos Investimentos das firmas sobre a Concentração Industrial

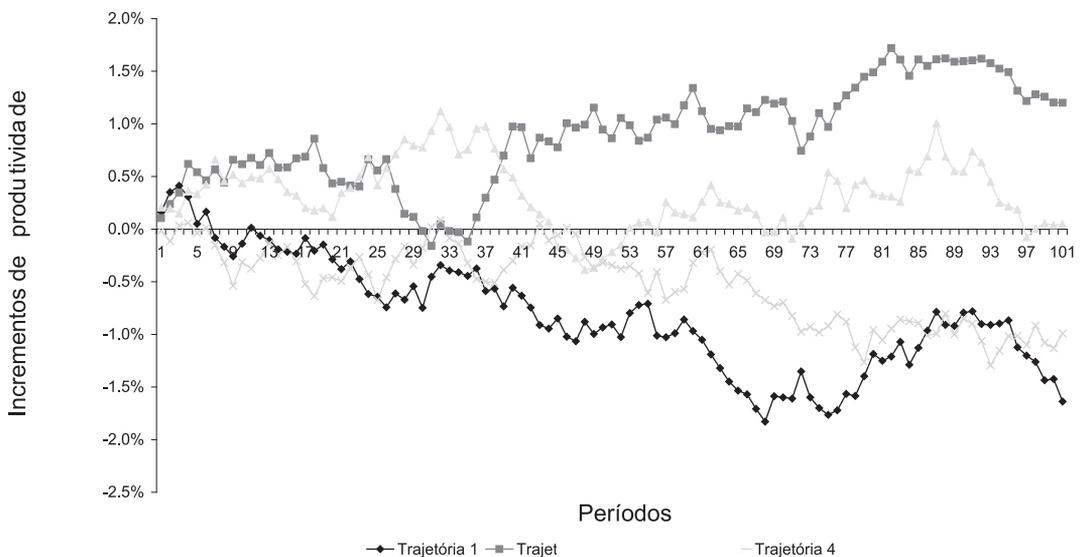
A fim de evidenciar possíveis interações entre as variáveis de desempenho das firmas e suas trajetórias tecnológicas⁶, procedeu-se também uma rodada de simulações onde se supuseram, arbitrariamente, a existência de 16 firmas e 4 trajetórias tecnológicas. A configuração destas últimas pode ser visualizada na figura 3. A inter-relação entre essas trajetórias tecnológicas e os padrões de evolução da produtividade, *market-share* e lucratividade das firmas, deve ser aprendida pela análise das figuras 4, 5 e 6⁷.

Um dos resultados mais significativos obtidos com esse experimento é o de que após determinado número de períodos, surgiram duas trajetórias economicamente viáveis, ou seja, às quais se associa um crescimento positivo da produtividade (trajetória 2 e 3), e que as diferenças de produtividade, *market-share* e lucratividade das firmas gravitaram em torno a essas duas trajetórias.

Ressalta-se também que as firmas permaneceram em suas trajetórias originais até o final do período, indicando o caráter de “aprisionamento” a uma determinada direção do desenvolvimento de novas técnicas produtivas. Observa-se que a indústria dividiu-se em dois grupos de firmas: aquelas que experimentaram ganhos expressivos

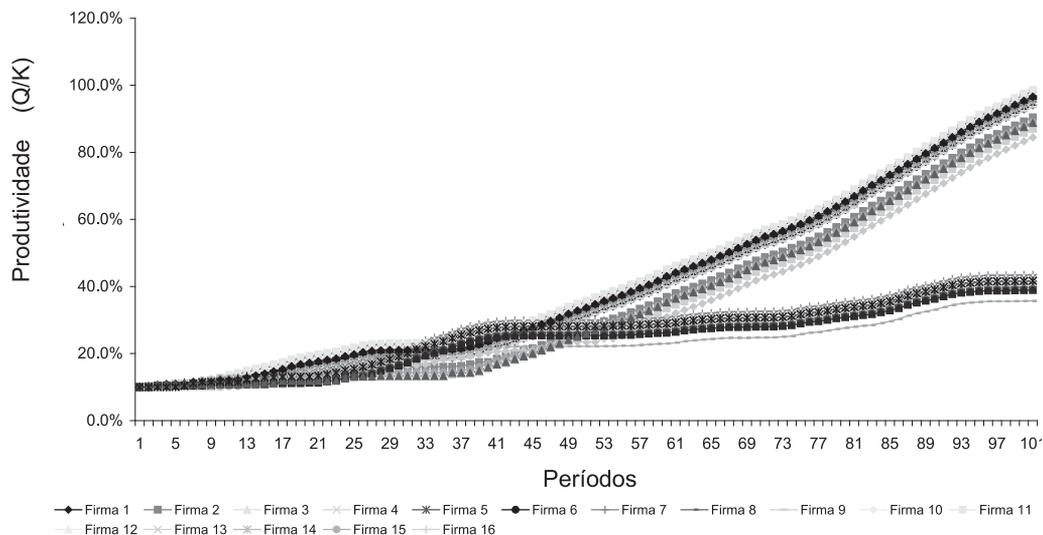
em termos de produtividade e, em menor grau, lucratividade e *market-share*, e aquelas que ficaram “presas” a trajetórias onde a tendência à estagnação foi o traço predominante; sendo que algumas firmas apresentaram lucros negativos, o que sugere a possibilidade de virem a não sobreviver.

Por fim, cabe observar que não há garantia, pela especificação do modelo, de que esses desempenhos continuem a ocorrer no futuro. Considere, por exemplo, a trajetória tecnológica 2. Uma possibilidade é que ela acabe por tornar-se uma linha de desenvolvimentos tecnológicos que não acrescente novos ganhos de produtividade, *market-share* ou lucratividade. Mas inúmeras outras situações seriam, em tese, igualmente possíveis, inclusive a de que outras trajetórias venham a se destacar, fazendo com que firmas até então pouco expressivas, passem a ocupar posição de destaque na indústria, a depender do grau de coerência que tenha caracterizado suas decisões de busca e seleção tecnológicas. E não há como ser diferente, já que estamos lidando um ambiente de dinâmica evolucionária.



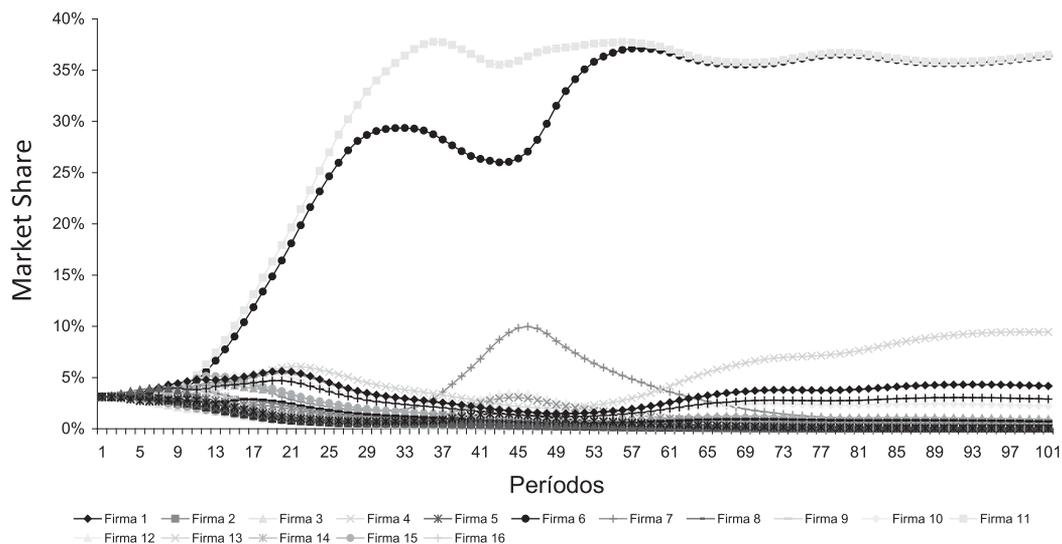
Fonte: Elaboração dos autores, com resultados da simulação computacional.

Figura 3 – Incrementos de produtividade associados a quatro diferentes trajetórias tecnológicas



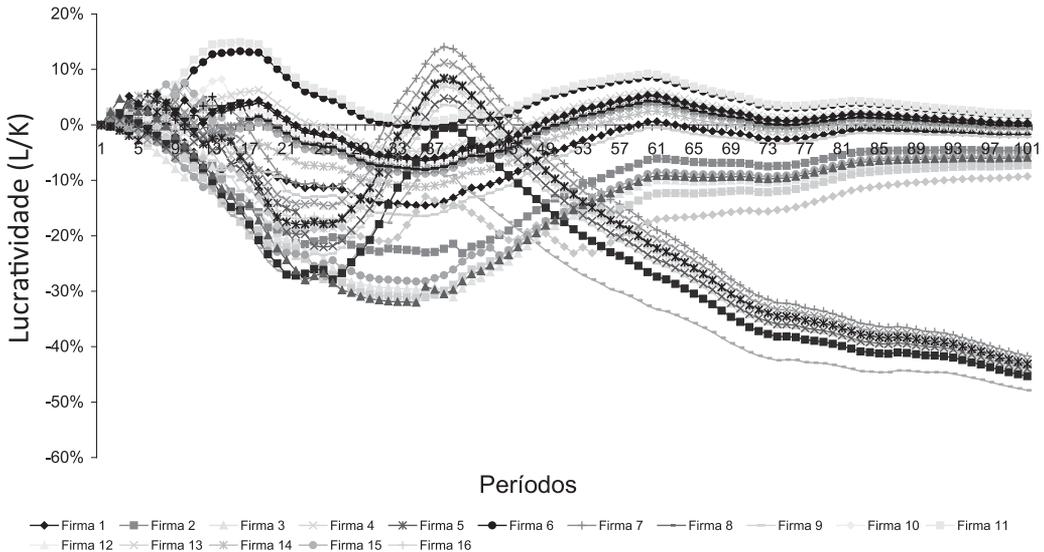
Fonte: Elaboração dos autores, com resultados da simulação computacional.

Figura 4 – Produtividade acumulada pelas firmas em quatro diferentes trajetórias tecnológicas



Fonte: Elaboração própria, com resultados da simulação computacional.

Figura 5 – Market-share das firmas em quatro diferentes trajetórias tecnológicas



Fonte: Elaboração própria, com resultados da simulação computacional.

Figura 6 – Lucratividade das firmas em quatro diferentes trajetórias tecnológicas

Considerações finais

Um dos principais desafios enfrentados pela abordagem neoschumpeteriana consiste na tentativa de formalizar as inter-relações de natureza econômica e tecnológica *stricto sensu*, sintetizadas nos conceitos de paradigma e trajetória tecnológica, de modo a se ter em conta como diferentes *rotinas* de busca e seleção tecnológicas, sedimentadas em processos (de mudança tecnológica) que caracterizam trajetórias *path-dependents* e encerram efeitos de cumulatividade tecnológica, afetam a estrutura e evolução da indústria e o desempenho das firmas, enquanto opera o mecanismo de seleção que distingue entre ganhadores e perdedores na concorrência intercapitalista.

Sob a perspectiva de formalizar um regime tecnológico que incorpore os efeitos de cumulatividade, o tratamento teórico dispensado à busca tecnológica constitui peça central do modelo. Os esforços deste artigo concentraram-se neste ponto. Por meio de uma reformulação pontual do regime de tecnologia cumulativa de Nelson e Winter (1982), propôs-se um modelo que permitisse incorporar na trajetória de busca tecnológica das firmas a influência da cumulatividade tecnológica e seus efeitos sobre o desempenho das firmas e a evolução da concentração da indústria.

Nesse sentido, o modelo apresentado neste artigo procurou estabelecer uma relação formal entre gastos acumulados em P&D bem sucedido e trajetórias (de busca)

tecnológicas, associando, assim, o sucesso corrente no desenvolvimento ou incorporação de novas técnicas à coerência das firmas quanto aos gastos em P&D realizados no passado. Isto implicou em fazer com que os gastos acumulados em P&D bem sucedido se traduzissem em maiores chances de sucesso inovativo na trajetória adotada vis-à-vis outras trajetórias (ver equações 11 e 12).

Observe que como o gasto acumulado em P&D depende do sucesso em determinada trajetória, o gasto em si é na realidade uma medida do sucesso anterior acumulado nessa trajetória. É importante notar que esta especificação dada ao gasto acumulado em P&D possui um significado absolutamente diferente daquele atribuído pelo modelo de regimes tecnológicos de Nelson e Winter, onde a magnitude do gasto realizado em um período de tempo t define inteiramente a probabilidade de sucesso inovativo neste (e apenas neste) período (t).

As hipóteses implicitamente assumidas pelo modelo desenvolvido neste artigo são de que ao modificarem suas rotinas inovativas, as firmas procurarão ter em conta as características das rotinas experimentadas com sucesso no passado, o que imprime um caráter path-dependence às suas escolhas sobre em quais direções realizar investimentos inovativos; e de que elas terão preferência por determinadas trajetórias tecnológicas onde obtiveram avanços significativos em termos produtivos e onde possuam maior comprometimento de recursos investidos com sucesso no passado.

Os experimentos feitos através das simulações confirmaram dois principais resultados esperados com o modelo: i) a cumulatividade tecnológica tende a afetar positivamente a evolução da concentração da indústria; ii) o grau de coerência das firmas com relação a seus esforços inovativos e decisões sobre em que direção(ões) ou trajetória(s) tecnológica(s) investir, sobretudo pelo efeito exercido em termos de aprisionamento tecnológico, constitui um importante condicionante do seu desempenho relativo na indústria, bem como da evolução da estrutura desta última.

Certamente que há ainda muito espaço para refinamentos e/ou extensões do modelo proposto, em termos da especificação das variáveis e dos parâmetros utilizados nas simulações. Ainda que o uso dos instrumentos computacionais tenha auxiliado a cobrir um grande espectro de casos, variações do modelo não foram testadas e há faixas de valores para os parâmetros que não foram exaustivamente simuladas, o que sugere a necessidade de se estender também o trabalho de simulação de dados.

Convém também assinalar que o potencial analítico do modelo vai muito além do que foi abordado neste artigo, sendo possível, e desejável, aprimorar a modelagem e aprofundar a análise em relação a determinados temas, como, por exemplo, o que se refere à questão da natureza e o grau de interação entre as variáveis de desempenho das firmas (produtividade, custos, *market-share*, preços e lucratividade etc) e suas escolhas em termos de trajetórias tecnológicas adotadas.

Por fim, ressalta-se que não fora feita nenhuma tentativa de aplicação do modelo à realidade factual. A ideia é posteriormente avançar nesse propósito.

INDUSTRIAL CONCENTRATION AND PERFORMANCE OF FIRMS IN THE HYPOTHESIS OF CUMULATIVE TECHNOLOGY: A MODELING EXERCISE

Abstract

This article proposes a model that formalizes the relationship among accumulated expenses in R&D and technological paths, associating the current success in the development and/or incorporation of new techniques to the coherence of the firms with relationship to the expenses in R&D accomplished great performance in the past. The assumed hypothesis is that when deciding for innovative investments, firms will have preference for certain technological paths where they accumulate a larger compromising with investments in the past and where they obtained the better results. It is evidenced that the adopted technological paths of the firms affect the productivity performance and the concentration of the industry.

Keywords: Industrial concentration. Innovation model. Technological diffusion.

CONCENTRACIÓN INDUSTRIAL Y DESEMPEÑO DE LAS FIRMAS EN LA HIPÓTESIS DE LA TECNOLOGÍA ACUMULADA: UN EJERCICIO DE MODELAJE

Resumen

Este artículo propone un modelo que formaliza la relación entre los gastos acumulados en P&D y las trayectorias tecnológicas, asociando el éxito actual en el desarrollo y/o en la incorporación de nuevas técnicas, a la coherencia de las firmas en lo que concierne a los gastos en P&D realizados con éxito en el pasado. La hipótesis asumida es que al momento de que las firmas decidan inversiones en innovación, tendrán preferencia por determinadas trayectorias tecnológicas, y serán aquellas en las que han acumulado en el pasado un mayor compromiso en gastos en P&D, y donde esas inversiones han producido mejores resultados. El modelo comprueba que las trayectorias tecnológicas adoptadas por las firmas condicionan el desempeño en productividad y también en el grado de concentración de la industria.

Palabras-clave: Concentración industrial. Difusión tecnológica. Modelo de innovación.

Classificação do JEL: D83, L19, O33

Notas

- ¹ Nesta acepção do termo, que remete à Schumpeter, inovar significa combinar diferentemente os materiais e forças produtivas disponíveis, com eles produzindo novas coisas, ou as mesmas coisas, mas com um método diferente. Cf. Schumpeter (1982, p. 48).
- ² A abordagem evolucionária da concorrência se caracteriza pela ênfase na análise dos efeitos da mudança técnica sobre o desempenho das firmas e a evolução das estruturas industriais. Baseia-se nos pressupostos de variedade tecnológica, diversidade comportamental, incerteza e complexidade *ambiental*. O resultado é uma concepção de concorrência que opera por meio da *criação* de diversidade estratégica, variedade tecnológica e da geração cumulativa de assimetrias competitivas entre firmas e indústrias, enquanto gera sistematicamente desequilíbrios dinâmicos, que produzem efeitos de caráter dual: instabilizam o sistema competitivo, enquanto repõem as condições para a retomada da acumulação capitalista.
- ³ O regime de *tecnologia cumulativa* assume a hipótese de que a probabilidade de sucesso tecnológico da firma depende exclusivamente da magnitude do investimento em P&D realizado no período corrente. Isto implica dizer que "...a experiência obtida e a eficiência com que a firma alocou os recursos que destinou para a atividade de P&D ao longo de toda a sua trajetória no setor, não exercem influência direta em seu desempenho tecnológico subsequente" (ALMEIDA, 2004, p. 56). Trata-se de um conceito de cumulatividade que incorpora a idéia de "... uma realimentação positiva do potencial inovativo ou imitativo da firma, mas ela não é tecnológica, isto é, ela não é *diretamente* derivada do sucesso tecnológico prévio..." (idem, *ibidem*).
- ⁴ O processo de busca tecnológica, como descrito pelo modelo Nelson e Winter (2005), apresenta três principais limitações, a saber: "a ausência de (1) spillovers de P&D; (2) de um processo, específico à firma, de exploração das oportunidades tecnológicas; e (3) de cumulatividade tecnológica" (Almeida, 2004, p.105). Superá-las implica, como ponto de partida, reconhecer que (a) os gastos em P&D produzem efeitos que ultrapassam os "muros" da firma e não se esgotam no momento em que foram realizados; (b) a capacidade de absorver novos conhecimentos e rotinas é afetada, positiva ou negativamente, por fatores que são internos e, em alguma medida, específicos à (cada) firma; e (c) o potencial inovativo ou imitativo das firmas depende, também, dos gastos pretéritos em P&D e do seu histórico de acúmulo de conhecimentos e capacitações. Entende-se que o modelo proposto neste artigo contribui pontualmente para a superação das limitações expressas em (1) e (3). Para uma "solução" abrangente e rigorosamente satisfatória do conjunto daquelas limitações, ver Almeida (2004).
- ⁵ Para efeitos de simulação computacional, utilizou-se a função de demanda $P_i = 1/Q_i$, que preenche os requisitos do modelo proposto.
- ⁶ Definindo-se a trajetória tecnológica como uma sucessão de acréscimos (decréscimos) de produtividade que podem ser acessíveis às firmas proporcionalmente ao gasto em P&D acumulado em trajetórias tecnológicas bem (mal) sucedidas.
- ⁷ As Figuras 3 a 6 foram geradas tomando como base os parâmetros que constam na Tabela 1. Não sendo possível representar as 1000 "rodadas" de simulação (cf. p. 16) em um só gráfico, optou-se por selecionar aqueles (Figuras 3 a 6) considerados representativos da média dos casos.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, S. *Dinâmica industrial e cumulatividade tecnológica*. Rio de Janeiro: BNDES, 2004, 144 p.
- BRESCHI, S.; MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Technological regimes and schumpeterian patterns of innovation. *The economic journal*, v. 110, p. 388-410, 2000.
- DOSI, G. Technological Paradigms and Technological Trajectories: a suggested interpretation of determinants and direction of technical change. *Research Policy*, v. 2, n. 3, p. 147-162, 1982.
- _____. Mudança técnica e transformação industrial: a teoria e uma aplicação à indústria de semicondutores. Tradução de Carlos D. Szlak, Campinas: Editora da Unicamp, 2006, 464p.
- _____. Sources, Procedures and Microeconomics Effects of Innovation, *Journal of Economic Literature*, v. XXVI, September, p. 1120-1171, 1988.
- _____.; EGIDI, M. Substantive and procedural uncertainty. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 1, p. 49-84, jan.-jun, 1991.
- _____.; FREEMAN, C., NELSON, R., SILVERBERG, G., SOETE, L. (Ed.) *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter Publishers, 1988, 646 pp.
- FREEMAN, C. The economics of technical change. *Cambridge Journal of Economics*, v. 18, p. 463-514, 1994.
- LA ROVERE, R. L. Paradigmas e trajetórias tecnológicas. In: *Economia da Inovação Tecnológica*. Victor Pelaez, Tamás Szmrecsányi (orgs), capt.12, São Paulo: Hucitec, 2006.
- METCALFE, J.S. *Evolutionary Economics and Creative Destruction.*, London: New Fetter Lane, 1998, 153 pp.
- NELSON, R.; WINTER, S.G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6, p. 36-76.
- _____. Uma Teoria Evolucionária da Mudança Econômica. Tradução de Cláudia Heller. Campinas: Editora da Unicamp, 2005. 632 pp.
- POSSAS, M. L. Racionalidade e regularidades: rumo a uma integração micro-macrodinâmica. *Economia e Sociedade*, n. 2, p. 59-80, 1993.
- POSSAS, M., KOBLITZ, A., et alii. (2001). Um modelo evolucionário setorial. *Revista Brasileira de Economia*, 55 (3), p. 333-377, 2001.
- SCHUMPETER, J. A. Teoria do desenvolvimento econômico. Tradução de Maria Sílvia Possas, São Paulo: Nova Cultural, (Os Economistas), 1982, 169p.
- _____. *Capitalismo, socialismo e democracia*. Rio de Janeiro: Zahar editores, 1984.
- SILVERBERG, G. DOSI, G., ORSENIGO, L. Innovation, Diversity and Diffusion: a self-organization model. *The Economic Journal*, v. 98, n. 393, p. 1032-1054, 1988.
- WINTER, S. G. Schumpeterian competition alternative technological regimes. *Journal of Economic Behavior & Organization*, Elsevier, v. 5 (3-4), p. 287-320, 1984.