

UM MODELO EVOLUCIONÁRIO DE BUSCA TECNOLÓGICA

Sergio Almeida
IE/UFRJ

Resumo

Entre os vários modelos que Nelson e Winter (1982) propuseram, o de dinâmica industrial com progresso técnico endógeno foi o que mais se difundiu e forneceu *insights* importantes sobre a relação entre o processo de mudança tecnológica e a estrutura de mercado. Muito embora os modelos evolucionários de dinâmica industrial desenvolvidos nas duas décadas seguintes tenham feito uma série de avanços, é possível apontar algumas limitações analíticas do modelo Nelson-Winter, ligadas ao processo de busca tecnológica (inovação e imitação), que ainda persistem nos modelos dessa corrente. Assim, o objetivo do artigo é elaborar um modelo de busca tecnológica com uma série de propriedades (cumulatividade tecnológica, spillovers de P&D assimétricos e acumulação/depreciação de conhecimento e capacitações tecnológicos) que possam ser capazes de superar aquelas limitações.

Palavras-chave: dinâmica industrial, spillovers de P&D, modelos evolucionários, regimes tecnológicos.

Abstract

One of the most influential evolutionary model in Nelson and Winter's book is the one dealing with industrial dynamics (chapter 12). From that model came out meaningful insights about market structure and technological change relationship. Despite the improvements made by evolutionary models that arose in this field since Nelson and Winter's book, this stream of models still shares some of the original limitations of Nelson and Winter's model, all them related to technological search. Thus, this article aims to make a technological search model that has properties (technological cumulativeness, asymmetrical R&D spillovers and knowledge accumulation and depreciation) which manage to overcome those analytical limitations.

Key words: industrial dynamics, R&D spillovers, evolutionary model of innovation and imitation, technological regimes.

1. INTRODUÇÃO

Muito embora o interesse analítico na questão do progresso técnico tivesse como propósito mais geral retomar os estudos sobre Economia do Desenvolvimento na perspectiva de superar a exogeneidade dos resultados dos modelos de crescimento *à la* Solow (cf. Nelson, 1995; Possas, 1999) a frequência com que tem aparecido nos aportes teóricos mais recentes para a literatura de crescimento econômico (Romer, 1986; Aghion e Howitt, 1992; Grossman e Helpman, 1994, Aghion *et al.*, 2001), sugere uma consolidação da mudança tecnológica como fonte de crescimento e mudança estrutural na economia.

Na verdade, antes dessas incursões mais recentes no tema, Nelson e Winter (1982) já haviam tentado, sob influência dos trabalhos de Schumpeter associando as inovações às oscilações cíclicas no ritmo de atividade da economia, destacar a dimensão tecnológica dos processos de competição nos mercados. A perspectiva adotada pelos autores não apenas parte dos processos microeconômicos de decisão no âmbito da concorrência entre as firmas nos mercados, mas procura fazê-lo em um ambiente marcado por diversidade comportamental e processos cumulativos de desajuste e instabilidade estrutural nas trajetórias tecnológicas que podem provocar uma profunda redefinição (endógena) da estrutura do mercado. A idéia é, basicamente, dar uma contrapartida formal a uma proposta teórica que procura integrar diferentes elementos, a saber: (1) o papel das inovações (*lato sensu*) como instrumento de competição e seus efeitos dinâmicos sobre a atividade econômica, indutores do processo de mudança estrutural; (2) o enfoque behaviorista da teoria da firma; (3) os estudos de H. Simon sobre racionalidade limitada e suas implicações sobre o comportamento decisório dos agentes; e (4) um aprofundamento da análise dos processos de “seleção natural”, criação e transmissão de padrões comportamentais, que guardam uma analogia com conceitos da biologia evolucionista.

Entre os vários modelos que propuseram, o de dinâmica industrial com progresso técnico endógeno (Nelson e Winter, 1982, cap. 12; doravante NW) foi o que mais se difundiu e forneceu *insights* importantes sobre a relação entre o processo de mudança tecnológica e a estrutura de mercado. Uma versão modificada do modelo (Winter, 1984) explora novas fontes de mudança técnica (entrada de novas firmas) e introduzia alguns *feedbacks* entre as estratégias e o desempenho da firma que conferiam flexibilidade aos processos decisórios ligados à política de P&D. A partir daí surgiram outros modelos (Silverberg *et al.*, 1988; Chiaromonte e Dosi, 1994; Kwasnicki, 1996; Yildizoglu, 1998; Winter, Dosi e Kaniovsky, 2000; Possas *et al.*, 2001) que, se por um lado – até por compartilhar das noções teóricas mais fundamentais ali presentes – reforçam e reutilizam a estrutura modelística original daqueles autores, por outro procuram remover suas simplificações mais evidentes e ampliar seu escopo de análise. Quanto à superação das simplificações, notadamente, na (1) formação dos preços, (2) na distribuição do mercado (demanda) entre as firmas e (3) na influência (nula) que a demanda tinha sobre as suas decisões de produção e investimento, recorreu-se, respectivamente – de modo resumido –, ao princípio do custo total; à introdução da equação de Fisher (“replicator dynamic equation”), que associa sua participação no mercado à sua competitividade (e esta se vincula, essencialmente, aos preços, mas não só); e à subordinação das decisões de investimento e produção às expectativas sobre a demanda. A ampliação do seu escopo, por sua vez, deu-se não apenas pela análise do processo de difusão do progresso técnico e dos efeitos de aprendizado na utilização de tecnologias distintas, mas também pela incorporação de outros elementos cujas referências teóricas utilizadas (Keynes e Kalecki) importam por abrirem espaço, de modo ainda incipiente, para o tratamento de questões que ainda são pouco investigadas pelo enfoque evolucionário neo-schumpeteriano. A singularidade teórica desses modelos reside, essencialmente, em três aspectos: (1) a ruptura com os modelos tradicionais de competição oligopolista que têm nas estratégias de preço, ou nas estratégias de (controle) oferta, a dimensão exclusiva da concorrência; (2) a tentativa de ilustrar a complementaridade das características tecnológicas e comportamentais da firma em determinar sua competitividade – parâmetro seletivo que sintetiza uma combinação das características operacionais e técnicas das firmas (e/ou de seus produtos); (3) a ênfase nas implicações de a dinâmica da indústria poder estar condicionada, de modos diferentes, a características *path-dependents* ou inerciais das firmas.

Todavia, não obstante os avanços que tais modelos fizeram, é possível apontar algumas limitações no modelo Nelson-Winter ligadas ao processo de busca (“search”) tecnológica que, inclusive, acabaram

sendo “herdadas” pelos modelos que o sucederam¹. Como veremos mais adiante, tais limitações são cruciais não apenas porque empobrecem a descrição analítica dos processos que promovem a mudança técnica nas indústrias, mas porque, uma vez superadas, podem promover mudanças significativas nos resultados colecionados por uma série de modelos evolucionários de dinâmica industrial elaborados ao longo de duas décadas, desde a publicação do livro (Nelson e Winter, 1982) que marca o surgimento formal e sistemático desse tipo de literatura. Assim, o objetivo deste artigo é desenvolver um modelo de busca tecnológica (inovação/imitação) onde: (1) as firmas acumulam conhecimento, cuja depreciação pode ser de natureza cognitiva ou tecnológica, (2) existem *spillovers* de P&D (assimétricos), (3) há cumulatividade tecnológica – realimentação dos processos estocásticos que definem o sucesso da busca tecnológica –, e (4) há endogenização das trajetórias tecnológicas das firmas. Com tais aspectos, o modelo pretende superar limitações do processo de busca tecnológica de uma série de modelos evolucionários de dinâmica industrial e, incorporando tais mudanças ao modelo de dinâmica industrial proposto por Possas *et al.* (2001), avaliar o impacto dessas mudanças no desempenho intertemporal das firmas e no próprio grau de concentração da indústria.

Além desta seção, o artigo conterà mais quatro sessões. Na próxima seção apresentaremos o modelo cujas características o tornam capaz de suprimir as deficiências apontadas anteriormente. Na terceira seção serão feitas algumas simulações da dinâmica de uma indústria, a partir do modelo proposto por Possas *et al.* (2001), cujo processo de mudança técnica segue as especificações analíticas do modelo proposto. Por fim, serão apresentadas as conclusões.

2. O MODELO DE BUSCA TECNOLÓGICA

2.1. BASE DE CONHECIMENTO E CAPACITAÇÕES TECNOLÓGICAS DA FIRMA

Seja $\Gamma_{i,t}$ a base de conhecimento tecnológico explorável da firma i no período t , formada (1) pelo conhecimento tecnológico acumulado previamente que está *efetivamente* disponível no período t , $\tilde{\Gamma}_{i,t}$, (2) pelo conhecimento tecnológico associado ao próprio esforço de P&D que a firma realiza no período corrente, $E_{i,t}$, (3) pelo conhecimento que “transborda” (*spillovers*) da atividade de P&D das firmas rivais (*intra-industriais*), $S_{i,t}$, e (4) por aquele outro tipo de conhecimento externo à firma, proveniente, com adequação maior ou menor às necessidades tecnológicas da firma, do sistema público de pesquisa (laboratórios, órgãos de pesquisa e o próprio sistema universitário) e da atividade de P&D realizada em outros setores e que será aqui representado por S_t^P .

Mas a expressão da base de conhecimento tecnológico da firma apenas com esses elementos estaria incompleta. É preciso estabelecer ainda que a capacidade de a firma assimilar, e converter às suas necessidades, o conhecimento tecnológico que “vaza” da própria atividade de P&D das firmas rivais ou que é exógeno ao setor e de domínio público, depende da *capacidade de absorção* ($0 \leq \xi_{i,t} \leq 1$) que possui e que é aprimorada pelo esforço de P&D contínuo que realiza – donde seguiria, para além de seus efeitos sobre a geração de conhecimento/inovações, seu papel *dual* na atividade tecnológica da firma, referido acima (cf. Cohen e Levinthal, 1989).

Assim, a base de conhecimento e das capacitações tecnológicas da firma pode ser definida como

$$(4) \quad \Gamma_{i,t} = \tilde{\Gamma}_{i,t} + E_{i,t} + \xi_{i,t} (S_{i,t} + S_t^P),$$

sabendo-se que a relação entre Γ_i e cada um dos elementos do lado direito da equação acima é tal que

$$\Gamma'_{E_i} > 0, \quad \Gamma'_{S_i} > 0, \quad \Gamma'_{S^P} > 0, \quad \Gamma'_{\xi_i} > 0,$$

¹ Resumidamente: ausência de *spillovers* de P&D, de cumulatividade tecnológica e de um processo específico à firma de exploração das oportunidades tecnológicas; nesse último, permitindo que a exogeneidade do ritmo de crescimento da fronteira tecnológica, seja transmitido para a fronteira tecnológica das firmas.

notando-se ainda que o efeito da capacidade de absorção sobre a base de conhecimento acumulada cresce a taxas decrescentes, isto é, $\Gamma'_{\xi_i, \xi_i} < 0$. Como $\tilde{\Gamma}_{i,t}$ representa o conhecimento previamente acumulado que está disponível em t (ou seja, já devidamente “depreciado”), a partir de (4) tem-se então que, em tempo discreto,

$$(5) \quad \Delta\Gamma_{i,t} = E_{i,t} + \xi_{i,t} (S_{i,t} + S_t^P) - \tilde{d}_{i,t}^\Gamma,$$

significando que, entre o período t e $t-1$, o conhecimento tecnológico associado ao esforço interno de P&D e aos *spillovers intra* e *extra*-industriais efetivamente internalizados adicionam-se ao “estoque” prévio existente; todavia, deve-se subtrair a parte $\tilde{d}_{i,t}^\Gamma$ do conhecimento acumulado previamente que foi “depreciada”; $\tilde{d}_{i,t}^\Gamma$, como será visto em seguida, é uma medida da perda total pela qual passa a base de conhecimento da firma; contudo, o tipo de depreciação que incide sobre o conhecimento acumulado depende da estrutura atual de organização do conhecimento dentro da firma, entre o que é tácito e o que é codificado – distinção, de resto, já apontada em Nelson e Winter (1982, cap. 5) e explorada mais detalhadamente em Dosi (1996), Zack (1999), Balconi (2000), Grimaldi e Torrissi (2001) e Antonelli (2002).

Assim, o termo $\tilde{d}_{i,t}^\Gamma$ na equação (5), em notação vetorial, pode ser decomposto da seguinte forma:

$$(6) \quad \tilde{d}_{i,t}^\Gamma = (\mathbf{1}' - \mathbf{D}'_{T(i)}) (1 - \eta_{i,t}) \hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)} + (\mathbf{1}' - \mathbf{D}'_{C(i)}) \eta_{i,t} \hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)}$$

$$\text{onde } \mathbf{D}'_{T(i)} = [\rho_{1,k}^{T(i)}]; k = 1, 2, \dots, t-1 \text{ e } \mathbf{D}'_{C(i)} = [\rho_{1,k}^{C(i)}]; k = 1, 2, \dots, t-1,$$

são vetores-linha ($\in \mathfrak{R}^{t-1}$) cujos elementos em (6), determinarão a taxa de depreciação da parte tácita ($\mathbf{1}' - \mathbf{D}'_{T(i)}$) e a taxa de depreciação da parte codificada ($\mathbf{1}' - \mathbf{D}'_{C(i)}$) do “módulo” de conhecimento incorporado no período k à base de conhecimento da firma i , respectivamente; observe-se ainda que

$$(7) \quad \hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)} = [\Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i]; k = 1, 2, \dots, t-1,$$

é um vetor-coluna ($\in \mathfrak{R}^{t-1}$) cujos elementos, $\Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i$, representam as várias “partes” que formam a base de conhecimento tecnológico da firma i no período t e que foram incorporadas no período k ; a partir de (5), sabe-se que

$$(8) \quad \Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i = E_{i,k} + \xi_{i,k} (S_{i,k} + S_{i,k}^P); k = 1, 2, \dots, t-1$$

A multiplicação do vetor $\hat{\Gamma}^{\Delta(i,t-1)}$ por um escalar que denota o grau de codificação da base de conhecimento tecnológico da firma no período t – e, residualmente $(1 - \eta_{i,t})$, seu grau de “tacitness” – garantirá que a incidência de cada taxa se dê apenas na parte que lhe corresponde. De (6) e (8) podemos explicitar o componente $\tilde{\Gamma}_{i,t}$ de (4):

$$(9) \quad \tilde{\Gamma}_{i,t} = \sum_{k=1}^{t-1} \eta_{i,t} \rho_{i,k}^C \cdot \Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i + \sum_{k=1}^{t-1} (1 - \eta_{i,t}) \rho_{i,k}^T \cdot \Delta\hat{\Gamma}_{k,1}^i,$$

Resta agora apresentar os elementos dos vetores $\mathbf{D}'_{C(i)}$ e $\mathbf{D}'_{T(i)}$ ($\rho_{i,k}^C$ e $\rho_{i,k}^T$), indicadores indiretos do grau de “depreciação” intertemporal da base de conhecimento tecnológico da firma e o processo endógeno de codificação da base de conhecimento que determina os valores que $\eta_{i,t}$ pode assumir.

2.2. A “DEPRECIÇÃO” DO CONHECIMENTO TÁCITO E DO CONHECIMENTO CODIFICADO

Reconhecida as especificidades quanto ao tipo de armazenamento e organização do conhecimento tácito, disposto na memória dos indivíduos que conformam a organização da firma, é razoável postular que sua “depreciação” e, portanto, a especificação que será feita em seguida de $\rho_{i,k}^T$, envolve dois tipos de fenômenos cognitivos.

Primeiro, o fenômeno da *interferência*: o acúmulo de novos conhecimentos e os processos neuronais exigidos na sua articulação com o conjunto já acumulado de conhecimento tecnológico dariam

origem a uma recombinação seletiva dos componentes da base de conhecimento da firma que tenderia a considerar, primordialmente, aquelas partes mais recentemente adquiridas em detrimento das mais antigas – que, de resto, estão associadas a outras fases da trajetória tecnológica da firma².

Segundo, o fenômeno da *deterioração*, que está associado a limitações cognitivas³ na evocação de “partes” do conhecimento que foram integradas à base de conhecimento no passado remoto e recente. Os indivíduos que operam as rotinas operacionais e tecnológicas dentro da firma valem-se da própria memória como meio de recorrer ao conhecimento tácito do passado a fim de utilizá-lo no presente, e as dificuldades na “ativação” desse conhecimento tácitas são tanto mais significativas quanto maior é tempo decorrido (Sternberg, 1996).

Assim, tendo esses aspectos em mente e observando-se a equação em (9), a equação abaixo em (11) define a taxa que indica a parte disponível (não “depreciada”) do que é tácito em cada um dos “fluxos” de conhecimento que compõem a base da firma i ; para os fluxos incorporados no período $t - k$ ($k = 1, \dots, t - 1$) segue então que,

$$(10) \quad \rho_{i,t-k}^T = \left(\frac{1}{k^\delta} \right) \left[1 - i \left(\frac{\Gamma_{i,t-1}}{\Gamma_{i,t-k}} - 1 \right) \right],$$

onde o primeiro e o segundo termos (entre colchetes) do lado direito da equação representam o efeito “deterioração” e o efeito “interferência”, respectivamente; δ e i são parâmetros – definidos tal que $\delta \in (0,1)$ e $\chi \in [0,1)$ – que indicam a velocidade de “depreciação” da parte tácita da base de conhecimento pelo “efeito deterioração” e o grau de interferência que o acúmulo de novos conhecimentos⁴ exerce sobre a proporção do conhecimento incorporado em $t - k$ que fará parte da composição corrente (atualizada) da base de conhecimento tecnológico da firma.

Quanto a parte codificada do conhecimento tecnológico, pelo menos dois elementos justificariam sua “depreciação”. Primeiro, o desenvolvimento de novas pesquisas científicas (básica e/ou aplicada) cujos resultados podem impor alguma obsolescência ao conhecimento codificado prévio utilizado pela firma; segundo, porque ao fracassar na tentativa de gerar uma inovação/imitação que envolve a utilização de todo um conjunto de capacitações e conhecimento tecnológico previamente acumulado, a parte codificada desse conhecimento sofre uma revisão voluntária de modo a reorganizar e redefinir o conhecimento (ou parte) que será utilizado subsequentelemente. Considerando, quanto ao primeiro motivo, que o progresso científico, em geral, é “normal” (e não “revolucionário”) e não requer uma “depreciação”, por obsolescência, além daquela imposta pela firma normalmente imporiam, é possível formalizar que:

$$(11) \quad \rho_{i,t-k}^C = \left(\frac{1}{1 + \alpha} \right)^{\tilde{f}},$$

que indica a parte disponível (não “depreciada”) do que é codificado em cada um dos “fluxos” de conhecimento que compõem a base da firma i incorporados no período $t - k$ ($k = 1, \dots, t - 1$). O parâmetro α ($0 < \alpha < 1$) define o ritmo de “depreciação”: para um mesmo \tilde{f} (definido logo em seguida), a proporção do conhecimento codificado de certa parte da base de conhecimento a ser “depreciada” será tanto maior quanto maior for α ; trata-se de um sinalização da importância que a firma concede ao seu “histórico” tecnológico enquanto fonte básica de indicação da apropriabilidade maior ou menor do conhecimento e das capacitações tecnológicas que adquiriu para o resultado (passado) de suas estratégias.

Por sua vez, \tilde{f} é definido tal que:

² Há por trás desse raciocínio um modelo de memória no qual (1) o “armazenamento” do conhecimento é tanto mais consolidado (facilmente reutilizável) quanto maior é o seu grau de codificação, e (2) os indivíduos desempenham suas tarefas utilizando um tipo de memória que integra elementos codificados contidos na “memória de longo prazo”, que foram recentemente ativados, com o conteúdo mais recentemente aprendido ainda não codificado. Sobre modelos de memória veja-se, por exemplo, Baddeley (1990) e Sternberg (1996).

³ Para indicações nesse sentido, cf., por exemplo, McKelvey (1998, p. 163) e Antonelli (2002).

⁴ Aqui inferidos pela taxa de crescimento da base de conhecimento da firma i entre o período próximo passado ($t - 1$) e o período ($t - k$) em que a parte que está sendo “depreciada” foi incorporada à base de conhecimento da firma.

$$(12) \quad \tilde{f} = \begin{cases} 0 & \text{se } \left((t-1) - \sum_{k=2}^{t-1} \tilde{d}_{i,t-k} \right) < [\Phi_{i,\Delta t}] \text{ ou } k=1 \\ \left((t-1) - \sum_{k=2}^{t-1} \tilde{d}_{i,t-k} \right) - [\Phi_{i,\Delta t}] & \text{c.c.} \end{cases},$$

onde $[\Phi_{i,\Delta t}]$ é o menor inteiro na vizinhança de $\Phi_{i,\Delta t}$, definido tal que

$$(13) \quad \Phi_{i,\Delta t} = u_i^F [(t-1) - (t-k)] = u_i^F (k-1)$$

é o nível de aspiração que a firma possui, dado por suas “expectativas tecnológicas”, quanto aos fracassos relativos que julga aceitável incorrer entre o período $t-1$ e $t-k$; a fim de tornar específico à firma o percentual u_i^F que determina esse nível de aspiração satisfatório, podemos defini-lo de modo que

$$(14) \quad u_i^F \sim U [p^{\min}, q^{\max}] \quad \forall i=1, \dots, n,$$

onde $0 < p^{\min} < q^{\max} < 1$, sendo p^{\min} e q^{\max} parâmetros.

Observe-se que a equação em (11) implica, de modo análogo à parte tácita do conhecimento, que o “fluxo” mais recentemente incorporado ($t-1$) à base de conhecimento da firma não sofre, no período t , qualquer tipo de “depreciação”, seja porque é possível que a firma ainda não conheça o resultado de sua estratégia tecnológica no (início do) período corrente, seja porque suas rotinas organizacionais indicam que o resultado de um único período (se fracasso, isto é, $\tilde{d}_{i,t-1} = 0$) é ainda insuficiente para justificar qualquer rearticulação dos elementos da base de conhecimento. Em todo caso, para $k > 1$ a variável \tilde{f} indica o número de “fracassos” obtidos pela firma, para além do que julgaria satisfatório, entre o período passado e o período em que certa “parte” da base de conhecimento foi incorporada; $\tilde{d}_{i,t}$ é uma variável aleatória de Bernoulli a ser definida posteriormente.

2.3. A DINÂMICA DO PROCESSO DE CODIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO TECNOLÓGICO

Há três razões para que a mudança na divisão da base de conhecimento, entre uma parte tácita e outra codificada, esteja diretamente relacionada ao grau de maturidade da tecnologia⁵ que a firma está explorando. Primeiro, porque à medida que a firma vai ultrapassando as fases iniciais do processo de exploração das oportunidades tecnológicas, a rotinização dos procedimentos de P&D efetuados vai permitindo que parte do conhecimento tecnológico tácito, utilizado na solução dos problemas que surgiram, seja documentada e facilmente acessível para a própria firma. Segundo, porque o avanço da firma em direção à fronteira tecnológica vai permitindo que certas orientações se tornem mais claras, de maneira que a firma possa desenvolver e investir na codificação de seu conhecimento e capacitações tecnológicas. Terceiro, porque os recursos financeiros que a firma vai obtendo em consequência das vantagens competitivas que o sucesso de suas estratégias tecnológicas produz (mesmo que transitórias), permitem cobrir mais facilmente os custos do processo de codificação.

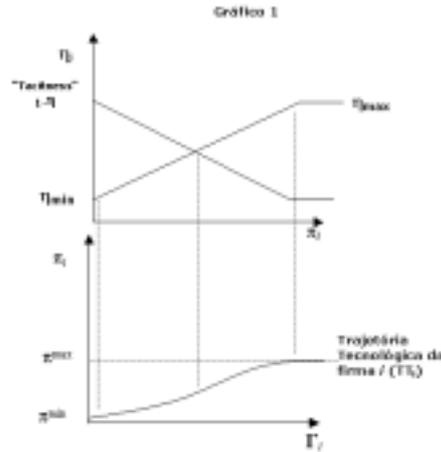
Assim, conforme indicado em (9), o grau de codificação da base de conhecimento da firma i no período t , $\eta_{i,t}$, pode ser definido de tal forma que

$$(15) \quad \eta_{i,t} = \eta_{\min} + \left(\frac{\bar{\pi}_{i,t} - \pi_{\min}}{\pi_{\max} - \pi_{\min}} \right) (\eta_{\max} - \eta_{\min})$$

onde η_{\max} e η_{\min} são parâmetros que definem os limites máximo e mínimo, respectivamente, de codificação da base de conhecimento, e $\bar{\pi}_{i,t} = \sum_{j=1}^k \beta_{i,j,t} \pi_{i,j,t}$ é a produtividade média da firma i no período t , representada pela produtividade de cada equipamento j que a firma i possui em t , $\pi_{i,j,t}$, ponderada pelo

⁵ Cf. Malerba e Orsenigo (1997, p. 97) e Balconi (2000, p. 13).

percentual da capacidade produtiva da firma no período t que opera com este equipamento j . Estamos supondo que cada firma, inicialmente, possua um mesmo nível de produtividade, dado por π_{\min} , e que esse nível se modifica em razão do sucesso maior ou menor de suas estratégias tecnológicas; do mesmo modo, suporemos também a existência de uma produtividade limite⁶ (ou seja, uma fase de esgotamento na exploração das oportunidades inovativas; veja gráfico 1 em seguida).



2.4. CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DA FIRMA E A DUALIDADE DO SEU ESFORÇO DE P&D

O engajamento da firma na atividade de P&D possui uma dupla funcionalidade, como destacou Tirole (1988, p.400), Cohen e Levinthal (1989), Freeman (1994), Nootebom (1999), Llerena e Oltra (2000): produz conhecimento e capacitações tecnológicas que permitam à firma obter técnicas mais produtivas (o que, no presente modelo, pode se dar tanto por meio de inovação quanto de imitação) e cria capacitações para apreender conhecimento tecnológico das firmas rivais e até mesmo o conhecimento tecnológico e científico produzido fora da indústria. Entre os elementos que formam a base de conhecimento da firma i no período t , definida em (4), há ainda o que se chamou de esforço tecnológico, representado pelos recursos que a firma dedica em cada período à atividade de P&D:

$$(16) \quad E_{i,t} = \omega \cdot (p_{i,t-1} x_{i,t-1}),$$

onde ω indica o percentual da receita de vendas que a firma i investe em P&D, $p_{i,t-1}$ é o preço praticado no período prévio e $x_{i,t-1}$ as vendas efetivas da firma no mesmo período⁷. A capacidade de absorção da firma i no período t é dada por:

$$(17) \quad \xi_{i,t} = \begin{cases} 0 & \text{se } E_{i,t-1} < E^{\min} \\ 1 - \frac{1}{\hat{d} \ln(1 + E_{i,t-1})} & \text{c.c.} \end{cases}$$

de maneira que $0 < \xi_{i,t} \leq 1 \forall t \in T$, onde T é um conjunto de índices, \hat{d} é um parâmetro positivo menor que a unidade, e E^{\min} indica o investimento em P&D a partir do qual a firma já se capacita a internalizar, em alguma medida, os *spillovers* de P&D *intra* e *extra* industriais.

2.5. SPILLOVERS DE P&D E A QUESTÃO DA “DISTÂNCIA TECNOLÓGICA”

O processo de mudança técnica dentro das firmas resulta não apenas do acúmulo de conhecimentos gerados pela própria atividade de P&D da firma, mas também pela internalização do conhecimento produzido pela atividade de P&D as demais firmas da indústria (*spillovers* intra-industriais) e mesmo de

⁶ Na verdade, estamos assumindo que o processo de exploração das oportunidades inovativas exhibe fases distintas e é esgotável. Nesse sentido, cf. Dosi (1988), Gort e Wall (1986), Sahal (1981) e Winter (1984).

⁷ As equações que determinam as vendas da firma (depende do seu *market share* da demanda total do período ao produto do setor) vêm do modelo elaborado por Possas *et al.* (2001), ao qual integraremos o presente modelo de busca tecnológica.

outros agentes/instituições da economia (*spillovers* extra-industriais) – veja-se Cohen e Levinthal (1989), Griliches (1992) e Caniels e Verspagen (2001). Contudo, o grau em que as firmas se beneficiam do conhecimento tecnológico de suas rivais é influenciado por aspectos que são, em última instância, específicos a cada firma (v.g. base de conhecimento tecnológico, capacidade de absorção), de modo que não há razão para supor que as firmas em uma indústria se beneficiem igualmente do conhecimento tecnológico de suas rivais; a idéia, portanto, é não apenas introduzir *spillovers*, mas fazê-lo superando especificações que utilizam aspectos ou hipóteses que suprimem ou são incompatíveis com a diversidade comportamental e a assimetria tecnológica existente na indústria – veja-se, por exemplo, Jaffe (1986), Griliches (1992) e Adams (2000).

Assim, seja $S_{i,t}$ a soma de parte do esforço de P&D conduzido por *cada uma* das $(n-1)$ outras firmas na indústria no período passado, que no período corrente está acessível para a firma i :

$$(17) \quad S_{i,t} = \sum_{i \neq j}^n \lambda_{i,j}^t \kappa (\eta_{i,t} E_{j,t-1}),$$

onde $(\eta_{i,t} E_{j,t-1})$ indica a parte codificada do esforço de P&D da firma j no período passado que está sujeita a algum tipo de apropriação por outras firmas no setor; κ é um parâmetro de natureza institucional que indica o grau de apropriabilidade do esforço tecnológico das firmas no setor, sendo portanto uma espécie de taxa de *spillover* que denota o percentual da parcela do esforço de P&D codificado da firma j que pode ser apropriado pela firma i .

Definindo-se $\Omega_{i,j}^t$ como a *distância tecnológica* entre a firma i e a firma j no período t que se inicia, tem-se que

$$(18) \quad \lambda_{i,j}^t = h(\Omega_{i,j}^t) \text{ onde } h: \mathfrak{R} \rightarrow (0,1] \text{ é sobrejetiva já que}$$

$$(19) \quad h(\Omega_{i,j}^t) = \exp\left\{-\nu(\Omega_{i,j}^t)^2\right\},$$

onde $\lambda_{i,j}^t$ indica a magnitude dos *spillovers* que a firma j gera e que está acessível para a firma i no período t e ν indica o grau de assimetria dos *spillovers* entre as duas firmas (mais adiante).

Se a distância tecnológica entre a firma i e j pode ser definida como

$$(20) \quad \Omega_{i,j}^t = \ln\left(\Gamma_{i,t-1}/\Gamma_{j,t-1}\right),$$

onde $\Gamma_{i,t-1}$ indica a base de conhecimento tecnológico da i -ésima firma no período passado, então

$\lambda_{i,j}^t$ será tanto maior (menor) quanto mais tecnologicamente próximas (distantes) as firmas i e j sejam tal como em (20).

Quanto aos *spillovers* extra-industriais de P&D, como este é um modelo com apenas uma indústria, o tratamento será bastante simplificado e exógeno, de forma que será possível captar apenas de forma aproximada a influência que a atividade de P&D conduzida por instituições públicas de pesquisa (universidades, laboratórios de pesquisa financiados pelo setor público, etc) tem na capacidade tecnológica das firmas (Freeman, 1988; Cohen e Levinthal, 1989). Assim, será definido que,

$$(21) \quad S_i^P = \zeta \left(m \sum_{i=1}^n s_{i,t-1} E_{i,t} \right); m \gg 1$$

onde m é um múltiplo do esforço tecnológico médio ponderado – medida aproximada do P&D público – e ζ é o grau de “focalização” desse P&D, ou seja, o quanto dele é “útil” para as firmas nesta indústria.

2.6. A ASSIMETRIA DOS SPILLOVERS INTRA-INDUSTRIAIS

Os *spillovers* de P&D ocorrem nas duas direções: a firma i se beneficia do gasto em P&D efetuado pela firma j no período prévio, e vice-versa; mas os “fluxos” de conhecimento tecnológico que podem ser internalizados por uma delas pode ser muito distinto do que foi internalizado pela outra. A razão dessa assimetria que faz as firmas mais “avançadas” tecnologicamente se beneficiarem relativamente menos que as que estão relativamente “atrasadas” do ponto de vista de seu conhecimento e capacitações

tecnológicas é exatamente a idéia de que a firma que está “adiantada” tem potencialmente menos a ser aprendido da firma que está “atrasada”. Segue então que

$$(22) \quad \begin{cases} \Omega'_{i,j} \geq 0 \rightarrow v = k_1 \\ \Omega'_{i,j} < 0 \rightarrow v = k_2 \end{cases},$$

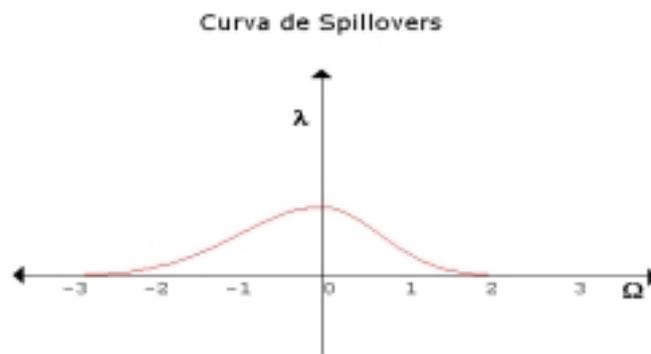
onde $k_1 > k_2$ ($k_1, k_2 \in (0,1]$).

Sobre os valores que podem ser assumidos por $\lambda'_{i,j}$ (ver gráfico 2), vale fazer ainda duas observações:

- (a) $\exists \tau > 0$ arbitrariamente pequeno tal que, ainda que se tenha $\Gamma_{i,t-1} > \Gamma_{i,j-1}$, mas sendo uma desigualdade de tal ordem que faça $\Omega'_{i,j} < \tau$, segue, por (22) e $\forall v \leq 1$, que $\lambda'_{i,j} = 1$; de modo análogo,
- (b) $\exists \tau' > 0$ arbitrariamente grande tal que, para qualquer que seja a desigualdade entre $\Gamma_{i,t-1}$ e $\Gamma_{i,j-1}$, mas se for uma desigualdade de tal ordem que faça $|\Omega'_{i,j}| > \tau'$, segue, por (20), e $\forall v \leq 1$ em (21), que $\lambda'_{i,j} = 0$.

A figura abaixo (2) dá uma indicação intuitiva das situações possíveis e da relação que existe entre $\lambda'_{i,j}$ e $\Omega'_{i,j}$:

Figura 1



Vale observar que $\Omega'_{i,j} = 0$ não implica *spillovers* nulos, mas apenas que eles são da mesma magnitude em ambas as direções, donde se pode extrair, tendo-se em mente inclusive as observações feitas em (a) e (b), o seguinte corolário:

Corolário 1: *É preciso existir algum grau de variedade tecnológica entre as firmas para que os spillovers de P&D possam, pela forma assimétrica com que beneficiará as firmas na indústria, ser uma fonte potencial de vantagem competitiva.*

Para o caso exemplar de duas firmas apenas, i e j , sabe-se que $S_{i,t} = \lambda'_{i,j} [\kappa(\eta_{j,t} E_{j,t-1})]$ e $S_{j,t} = \lambda'_{j,i} [\kappa(\eta_{i,t} E_{i,t-1})]$ são os *spillovers* de P&D que a firma i e a firma j , respectivamente, podem internalizar, dependendo de sua capacidade de absorção, uma da outra, no período t . É fácil ver que se tais firmas são relativamente homogêneas do ponto do conhecimento e das capacitações tecnológicas que possuem, de modo que $|\ln(\Gamma_{i,t}/\Gamma_{j,t})| \in (0, \varepsilon)$, onde $\varepsilon > 0$ é arbitrariamente pequeno, então os *spillovers* líquidos, por (22) (supondo, a título de exemplo, $\eta_{i,t} E_{i,t-1} = \eta_{j,t} E_{j,t-1}$), serão nulos, de sorte que $S_{i,t} - S_{j,t} = 0$. Assim, $\exists \varepsilon' > \varepsilon$ tal que $|\ln(\Gamma_{i,t}/\Gamma_{j,t})| \in (\varepsilon, \varepsilon')$, de maneira que $S_{i,t} \neq S_{j,t}$, seja porque $\lambda'_{i,j} > \lambda'_{j,i}$ ou porque $\lambda'_{i,j} < \lambda'_{j,i}$ – já que, se for $|\ln(\Gamma_{i,t}/\Gamma_{j,t})| > \varepsilon'$, para um ε' grande, então $\lambda'_{i,j} = \lambda'_{j,i} = 0$ como já se indicou. Daí segue que existe um limite a tal *gap* tecnológico entre as firmas, para que os resultados não sejam nulos – que prevaleceria se as firmas tivessem bases de conhecimento e capacitação tecnológica muito divergentes.

2.7. COMPETÊNCIA TECNOLÓGICA: INTRODUZINDO CUMULATIVIDADE TECNOLÓGICA

Ao introduzir cumulatividade pretendemos tornar o potencial inovativo/imitativo (doravante tecnológico apenas) de uma firma i que foi relativamente mais bem sucedida em suas estratégias no passado do que a firma j , maior do que o potencial detido pela firma j , de modo que

$$(23) \quad \Pr(\tilde{d}_{i,t}^n = 1 | \tilde{d}_{i,t-k}^n = 1) > P(\tilde{d}_{j,t}^n = 1 | \tilde{d}_{j,t-m}^n = 1) \forall k < m,$$

implicando que o potencial tecnológico da firma i será tanto maior (supondo $\Gamma_{i,t} = \Gamma_{j,t}$) uma base quanto mais recentes forem os resultados positivos de suas estratégias *vis à vis* a firma j , que a despeito de poder também deter o mesmo número de sucessos inovativos/imitativos prévios, os obteve em períodos menos recentes.

Nesse sentido, é possível definir $I_{i,t-k}^{\tilde{d}}$ como um indicador da importância relativa do resultado da estratégia tecnológica no $(t-k)$ -ésimo período – onde $k=1, \dots, t-1$ – para o sucesso da busca tecnológica no período corrente t , que possuam a seguinte propriedade:

$$(24) \quad I_{i,t-k}^{\tilde{d}} > I_{i,t-2}^{\tilde{d}} > \dots > I_{i,2}^{\tilde{d}} > I_{i,1}^{\tilde{d}}.$$

Embora essas características sejam importantes, é preciso complementá-las com outras num mecanismo que possa ampliar o potencial tecnológico das firmas além daquele que prevaleceria para uma base de conhecimento tecnológico de certa dimensão e nenhuma estratégia tecnológica bem-sucedida no passado.

Para o cômputo do que será chamado, em seguida, “competência tecnológica” das firmas na indústria, e incorporando as características da expressão em (24), vamos definir $\Phi_{i,t-k}$ como função inversamente proporcional ao tempo, de modo que:

$$(25) \quad \Phi_{i,t-k} = \frac{1}{\sqrt{k}} \left(1 - \hat{i} \sum_{l=1}^{k-1} \tilde{d}_{i,t-k+l} \right); k = 1, \dots, t-1,$$

onde a expressão entre parênteses⁸ indica que o “peso” do resultado da estratégia tecnológica da firma i no período $t-k$ poderá ser menor ($0 < \hat{i} < 1$), além do que seria apenas pela sua posição no intervalo de tempo transcorrido, pelo fato de a firma ter obtido um número maior ou menor de sucessos subseqüentes. Há duas idéias contidas na expressão em (25). Em primeiro lugar, que os sucessos mais recentes são mais importantes para a firma e são indicadores mais robustos do domínio das fases da trajetória tecnológica que percorreu; segundo, é preciso, com base nesse critério, diferenciar a competência tecnológica de firmas que, não obstante as diferenças quanto ao período em que obtiveram sucesso, lograram o mesmo número de “sucessos” inovativos ou imitativos – de maneira a evitar o viés que existiria caso a “competência tecnológica” fosse dada apenas pelo percentual de “lances” bem-sucedidos.

É possível agora definir o histórico tecnológico da firma i no período t como sendo

$$(26) \quad H_t^i = \sum_{k=1}^{t-1} \Phi_{i,t-k} \cdot \tilde{d}_{i,t-k},$$

que assumirá, por exemplo, valor zero se as estratégias tecnológicas da firma i não foram bem-sucedidas. Assim, combinando as expressões em (25) e (26), é possível definir

$$(27) \quad \theta_{i,t} = H_t^i / \sum_{k=1}^n \Phi_{i,t-k}$$

como sendo a “competência tecnológica” da firma i no mesmo período; este seria um indicador de competência que reflete o domínio que a firma possui da trajetória tecnológica, onde $0 \leq \theta_{i,t} \leq 1$.

2.8. PRIMEIRO ESTÁGIO DO PROCESSO DE BUSCA TECNOLÓGICA: O RESULTADO DAS ESTRATÉGIAS TECNOLÓGICAS

⁸ Definiremos por convenção, para o caso em que $k=1$, que $\tilde{d}_{i,t} = 0$.

O processo que define o resultado das estratégias tecnológicas das firmas (inovadoras e imitadoras), segue, na forma, o tratamento existente no modelo NW (cf. Nelson e Winter, 1982, cap. 12): um processo estocástico em dois estágios onde, no primeiro, se define o sucesso ou fracasso da estratégia (imitação ou inovação) e, no segundo, a produtividade que será alcançada. Num caso e noutro as equações são muito semelhantes, e, sempre que possível, nos referiremos apenas a um caso apenas. Vale lembrar também que usaremos a base de conhecimento tecnológico normalizada⁹ pela capacidade produtiva da própria firma, de modo que $\hat{\Gamma}_{i,t} = \Gamma_{i,t}/x_{i,t}$. Assim, para o caso das firmas inovadoras e desde que $\hat{\Gamma}_{i,t} \geq 0$, segue então que

$$(28) \quad \Pr_{\Gamma}(\hat{\Gamma}_{i,t}^* < \hat{\Gamma}_{i,t}) = F_{\Gamma}(\hat{\Gamma}_{i,t}) = \frac{\left[\exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t}) \right]}{\left\{ a + \left[\exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t}) \right] \right\}},$$

que indica a probabilidade de a firma inovadora, cuja base de conhecimento tecnológico normalizada no período t é $\hat{\Gamma}_{i,t}$, obter um sucesso inovativo; a é um parâmetro que indica o grau de dificuldade em ser

bem sucedido para uma base de conhecimento relativamente pequena; $\Lambda_{i,t} = \delta' \left(\frac{\bar{\pi}_{i,t} - \pi_{\min}}{\pi_{\max} - \pi_{\min}} \right)$; $0 < \delta' < 1$,

por sua vez, capta o grau de dificuldade da firma em obter sucesso inovativo quando se aproxima da fronteira tecnológica – o que é consistente com várias indicações de que o esgotamento relativo das oportunidades tecnológicas torna mais lento/difícil o progresso técnico, exigindo um acúmulo de conhecimento e de capacitações tecnológicas relativamente maior comparado com os estágios iniciais da trajetória¹⁰.

Observe-se que para a firma que imita a expressão é a mesma, substituindo-se apenas o parâmetro b^n por b^m , de maneira que $b^n > b^m$, donde segue que, se fizermos a firma l inovadora e a firma p imitadora, $F_{\Gamma}(\hat{\Gamma}_{l,t}) \geq F_{\Gamma}(\hat{\Gamma}_{p,t}) \forall \hat{\Gamma}_{l,t} = \hat{\Gamma}_{p,t}$, onde $\tilde{\Gamma}$ é o valor da base de conhecimento da firma i que seria necessário no período t para produzir um sucesso em sua respectiva estratégia tecnológica. Mesmo que um e outro tipo de firma possam se beneficiar mutuamente do esforço tecnológico de firmas que possuem direcionamento distinto do seu, é razoável admitir que a probabilidade inicial de obter sucesso em suas respectivas estratégias é diferente em um caso e outro, sendo maior no caso das firmas inovadoras – daí a diferença nos parâmetros b^n e b^m . Para o caso em que as firmas i e j guardam a mesma distância da fronteira tecnológica e compartilham do mesmo tipo de estratégia tecnológica, fica valendo a seguinte desigualdade:

$$(29) \quad \Pr(\tilde{d}_{i,t} = 1 | \hat{\Gamma}_{i,t} = \Gamma') > \Pr(\tilde{d}_{j,t} = 1 | \hat{\Gamma}_{j,t} = \Gamma'),$$

desde que $\theta_{i,t} > \theta_{j,t}$.

Assim, de modo análogo ao que foi feito em Possas *et al.* (2001, p. 358), o resultado (sucesso ou fracasso) é definido como uma variável aleatória discreta que assume valor 1 ou 0 conforme o seguinte processo:

$$(30) \quad \tilde{d}_{i,t} = \begin{cases} 1 & \text{se } Z \leq \frac{\exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t})}{a + \left[\exp(b^n \hat{\Gamma}_{i,t})(1 + \theta_{i,t} - \Lambda_{i,t}) \right]}, \\ 0 & \text{c.c.} \end{cases}$$

onde $Z \sim U[1,0]$.

⁹ A normalização serve para evitar que, usando apenas $\Gamma_{i,t}$, tenhamos que acrescentar novos parâmetros de ajuste em seus determinantes para evitar que assumam valores que podem produzir uma probabilidade de ter sucesso sempre unitária, ainda que a indústria esteja em sua fase inicial.

¹⁰ Cf., por exemplo, Dosi (1988, p. 54) e Dosi (1991b).

2.9. SEGUNDO ESTÁGIO DO PROCESSO DE BUSCA TECNOLÓGICA: ENDOGENEIZANDO AS TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS DAS FIRMAS

Sejam $\pi_{i,t}^M$ e $\pi_{i,t}^N$ os níveis de produtividade que a firma imitadora e a firma inovadora, respectivamente, poderão obter no período t , de forma que, se a firma imitadora obteve um sucesso imitativo no período corrente, então $\tilde{d}_{i,t}^m = 1$, de modo que a produtividade da firma imitadora no período t será dada por:

$$(31) \quad \pi_{i,t}^M = \max_{i,j} \{ \pi_{i,j,t}^0 \} \quad \forall i = 1, \dots, n,$$

onde $\pi_{i,j,t}^0$ é a produtividade inicial do equipamento/tecnologia j da firma i no período t .

O sucesso da firma inovadora no primeiro estágio, $\tilde{d}_{i,t}^n = 1$, não garante que o nível de produtividade a ser obtido será necessariamente superior, pela simples razão de que seu resultado é também definido de forma estocástica – uma representação analítica que pretende captar a incerteza (maior) dos seus resultados. A produtividade a ser obtida pela inovação, tendo sido a firma bem-sucedida no primeiro estágio do processo de *busca*, é determinada por

$$(32) \quad \pi_{i,t}^N \sim \text{LN}[\mu, \sigma^2];$$

mas a média dessa distribuição não será determinada como no modelo Nelson-Winter, que pressupunha não apenas um crescimento contínuo das oportunidades tecnológicas (ainda que não existisse qualquer indicação de mudança de paradigmas), mas que as firmas inovativas (e as imitadoras mais “fortes”) seguissem, ainda que com alguma defasagem¹¹, os *picos de produtividade* dados pela fronteira tecnológica. Tal fronteira, sob a justificativa de um contínuo progresso científico, crescia exógena e continuamente conforme a taxa de crescimento da média da distribuição escolhida (*lognormal*) para especificar os resultados do segundo estágio do processo de *busca* das firmas que inovam; contudo, sem um processo de transição (ou exploração da produtividade potencial), essa exogeneidade se transmitia diretamente para o ritmo de crescimento da fronteira de produtividade das firmas.

Desse modo, a endogeneização das trajetórias passa pela subordinação da velocidade e direção da trajetória tecnológica que a firma segue ao conjunto de conhecimentos e capacitações tecnológicas acumulados ao longo de seu período de atividade; é a especificação da média que permitirá que o ritmo do progresso técnico das firmas seja endogeneizado, passando a depender de variáveis que são determinadas a partir do seu próprio desempenho e de suas estratégias tecnológicas.

A média da distribuição em (32) passa a ser então

$$(33) \quad \mu(\hat{\Gamma}_{i,t}) = \frac{\pi_{\max} \pi_{\min}}{\pi_{\min} + (\pi_{\max} - \pi_{\min}) \exp(c - \beta \hat{\Gamma}_{i,t})},$$

observando que

$$\mu(\Gamma_{i,t}) = \pi_{\min} \quad \forall \quad \hat{\Gamma}_{i,t} \leq 0 \quad \text{e} \quad \lim_{\Gamma_{i,t} \rightarrow +\infty} \mu(\hat{\Gamma}_{i,t}) = \pi_{\max};$$

desse modo, agora teremos que:

$$(34) \quad \log(\pi_{i,t}^n) \sim N(\mu, \sigma^2),$$

valendo observar que o formato assumido pela trajetória tecnológica (cf. gráfico 1) das firmas inovadoras (logo, das imitadoras) define basicamente três fases: (1) uma fase inicial de assimilação das oportunidades (cuja “extensão” pode ser ajustada através do parâmetro c), com retornos relativamente constantes, em que o acúmulo de conhecimento e capacitações tecnológicas ainda é relativamente incipiente, (2) uma fase intermediária na qual há retornos crescentes e variações relativamente pequenas da base de conhecimento da firma podem gerar resultados significativos (*ceteris paribus*, o parâmetro β permite tornar mais ou menos acentuado esses ganhos em termos de produtividade) se comparados com a fase anterior, e (3) uma fase final em que há praticamente um esgotamento das oportunidades tecnológicas e as mudanças na base de conhecimento não produzem resultados superiores àqueles já obtidos.

¹¹ E não só porque as firmas que inovavam nem sempre obtinham sucesso em suas estratégias, mas porque, ainda que fossem bem sucedidas, nada garantiria um resultado melhor em termos de eficiência produtiva.

3. DINÂMICA INDUSTRIAL EM CONDIÇÕES DE CUMULATIVIDADE TECNOLÓGICA: SIMULAÇÕES DO MODELO PK REVISITADO

Nesta seção trataremos de analisar os resultados dos exercícios de simulação do modelo evolucionário de dinâmica industrial proposto por Possas *et al.* (2001) (doravante PK) modificado em seu “módulo” de busca tecnológica – que segue as mesmas especificações do modelo Nelson-Winter – adotando-se em seu lugar o modelo desenvolvido anteriormente.

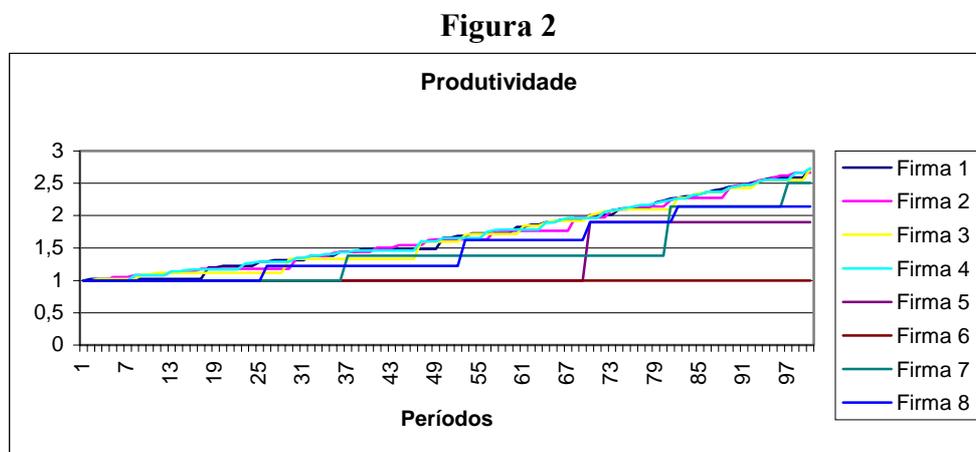
Na versão do PK cujo processo de busca segue a formalização do modelo Nelson-Winter, observaremos o caso do regime tecnológico *science-based*, em que a fronteira tecnológica (ou, segundo os autores, a “produtividade latente”) cresce 1% por período de produção; ou seja, a média da distribuição lognormal, que indicará a produtividade que a firma inovativa bem-sucedida poderá obter, cresce 1% a cada período. Já na versão cujo processo de busca segue o modelo desenvolvido anteriormente, observaremos o caso do regime tecnológico que chamaremos “hipercumulativo”, já que combina a cumulatividade que deriva dos “*market feedbacks*” com a cumulatividade tecnológica. A partir da trajetória de algumas variáveis selecionadas¹² será feita uma análise comparativa dos resultados obtidos pelo modelo PK em diferentes condições de *busca* tecnológica.

A indústria é composta de oito firmas divididas em dois grupos: quatro firmas inovadoras e quatro firmas imitadoras; a demanda da indústria cresce 1% por período. À exceção dessa orientação quanto à incorporação de tecnologia, as firmas compartilham as mesmas características iniciais. As numeradas de 1 a 4 são inovadoras e gastam 6% do faturamento em P&D; as numeradas de 5 a 8 são imitadoras e gastam 3% em P&D. Assume-se que cada período de produção equivale a um “trimestre”, de maneira que serão feitas simulações para 100 períodos de produção (“time-steps” do modelo), ou 25 “anos” (cf. Possas *et al.*, 2001).

Como os resultados são preliminares e ainda muito gerais, o interesse maior das simulações será o de observar como as firmas que seguem estratégias tecnológicas distintas, inclusive quanto à magnitude de recursos envolvidos em um e outro tipo de P&D, terão seu desempenho modificado ao longo do tempo num e noutro modelo de busca tecnológica. Em particular, importa verificar como a introdução de *spillovers* de P&D e de cumulatividade tecnológica podem alterar o desempenho das firmas inovadoras e imitadoras e o grau de concentração na indústria.

3.1. REGIME TECNOLÓGICO “SCIENCE-BASED”

(a) **Produtividade:** a produtividade apresentou trajetória crescente na forma de “degraus”. Nos períodos em que a produtividade permaneceu constante, as firmas não obtiveram nenhum sucesso inovativo ou imitativo, que tendem a impulsionar a produtividade.

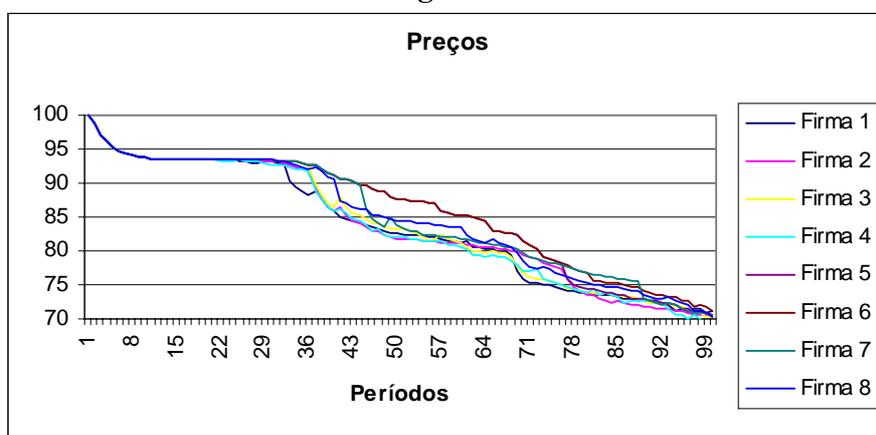


¹² Quais sejam: (1) produtividade das firmas, (2) preços, (3) participação de mercado de cada firma: inovadoras e imitadoras, (4) grau de concentração.

Observe-se que as firmas inovadoras seguem os deslocamentos da fronteira tecnológica com pequena defasagem, enquanto as firmas imitadoras, embora alcancem a melhor tecnologia (“*best practice*”) existente no setor, devido ao efeito *learning by doing*, obtêm uma produtividade que é inferior ao nível efetivamente usufruído pelas firmas inovadoras que foram imitadas.

(b) **Preços:** as simulações realizadas indicaram que os preços exibem, como esperado, trajetórias declinantes, com destaque para as trajetórias das firmas inovadoras que são relativamente mais acentuadas (Figura 4). Isto decorre do fato de as inovadoras darem peso relativamente maior para seu *mark-up* desejado na formação de seus preços e, como possuem parcela maior do mercado, imprimem seu ritmo ao preço médio da indústria, ao qual vão se acomodando as firmas imitadoras. A convergência entre os preços vai se acentuando porque o modelo PK utiliza uma regra em que o *mark-up* desejado das firmas com posição no mercado relativamente pior – e esse é o caso das firmas imitadoras a partir de certo período – é igualado ao *mark-up* efetivo médio do último período, de maneira que sua regra de preço vai cada vez mais reproduzindo as condições médias vigentes no mercado, majoritariamente influenciadas pelas firma inovadoras.

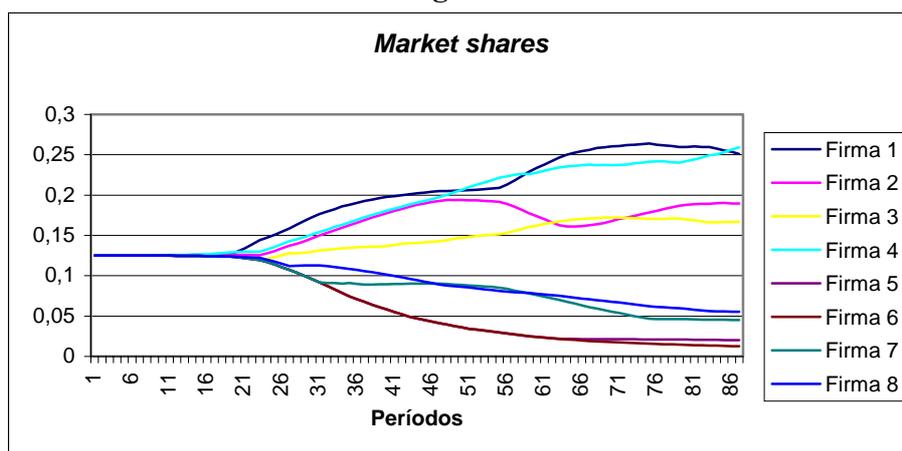
Figura 3



(c) **Market share:** as firmas inovadoras obtiveram um *market share* relativamente mais elevado, beneficiando-se de sua estratégia tecnológica. O desempenho desse grupo de firmas foi superior não apenas porque seu esforço tecnológico foi maior¹³ em relação ao grupo de firmas imitadoras, mas porque sua regra de preço lhes confere por hipótese uma posição de liderança (dando maior peso ao preço desejado – 70%, enquanto as imitadoras atribuem 30%), permitindo que o sucesso de suas estratégias tecnológicas (e as vantagens de custo que permite) seja explorado com maior intensidade. Isso permite, por sua vez, que suas vantagens em preços consolidem uma posição relativamente melhor no mercado obtida inicialmente. Observe-se que não há reversão significativa das trajetórias desenhadas a partir de certo período. A Figura 3, que mostrou a trajetória da produtividade das firmas, deixa claro por que as imitadoras praticam estratégias de preço acomodatórias: a posição tecnológica inferior *vis à vis* firmas inovadoras torna mais adequado ser “seguidora” de preços do que ensaiar posições mais agressivas, sob pena de sacrificar sua posição e mesmo sobrevivência no mercado.

¹³ Simulações com estratégias inversas (inovadoras gastando em P&D 3% e imitadoras 6% de sua receita), embora melhorem o desempenho das firmas imitadoras, não alteram qualitativamente os resultados em termos de *market share*, de maneira que seu desempenho superior está também ligado à sua estratégia de preço e às condições de financiamento (taxa de juro, aqui mantida constante); mais detalhes sobre o efeito da taxa de juros sobre o desempenho das firmas, cf. Possas *et al.* (2001, p. 367).

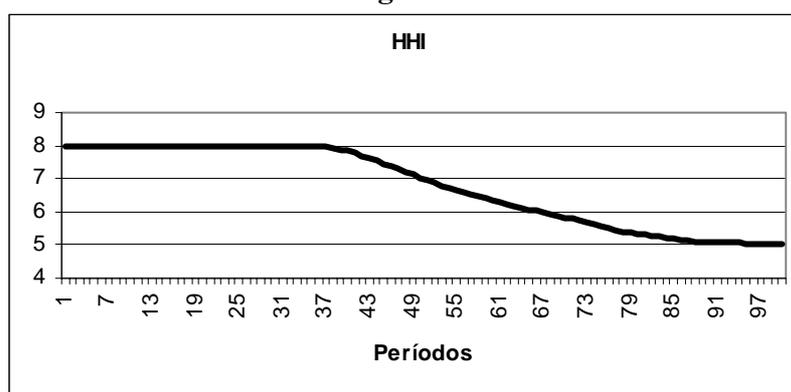
Figura 4



(d) **Grau de Concentração: HHI (Índice de Hirschman- Herfindahl invertido)**¹⁴: como a taxa de crescimento da fronteira tecnológica é relativamente baixa (1%), o grau de concentração do mercado permanece relativamente estável, como pode ser visto na Figura 6 abaixo. Como foi indicado nas simulações preliminares desse modelo, o crescimento da fronteira tecnológica aumentava o grau de concentração da indústria em benefício das firmas inovadoras – já que, por definição, são as únicas capazes de, a depender dos resultados de suas estratégias tecnológicas, alcançar sistematicamente a fronteira tecnológica. O aumento dessa taxa tende a aumentar o “lag” tecnológico entre imitadoras e inovadoras e criar uma “bifurcação” nas trajetórias de ambas em termos de *market share* em favor das inovadoras.

Esse resultado será mais nítido quando obtivermos sua evolução em uma indústria sob um regime tecnológico distinto, que premia no presente as firmas bem-sucedidas no passado para além das vantagens que pode obter de usufruir tecnologias mais eficientes. Isso significa que as firmas que forem bem-sucedidas com maior rapidez, por um lado, poderão construir vantagens competitivas irreversíveis; mas, por outro lado, o efeito inverso resulta dos *spillovers* de P&D intra-industriais, que podem chegar a reverter a trajetória de algumas firmas inicialmente em desvantagem, ainda que isso possa não implicar grandes alterações no grau de concentração do setor.

Figura 5



¹⁴ Esse índice indica o número de firmas que possuem o mesmo tamanho que produziria um índice de Hirschman-Herfindahl de mesmo valor (cf. Possas, Koblitz *et al.*, 2001, p. 364). Quanto menor este valor, maior é a concentração da indústria.

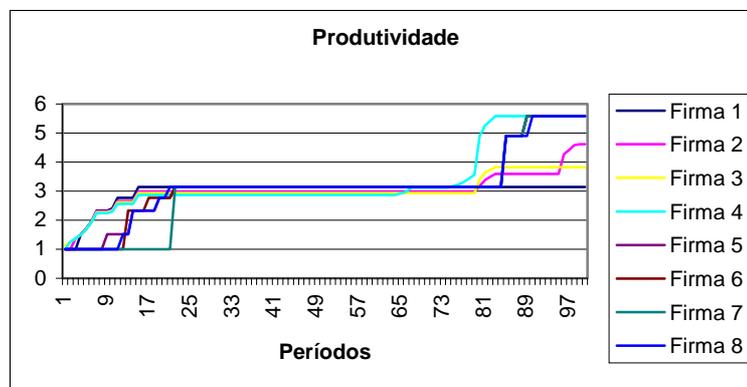
3.2. REGIME TECNOLÓGICO “HIPERCUMULATIVO”

Na especificação do processo de busca tecnológica que será utilizada, as firmas mantêm as estratégias tecnológicas utilizadas nas simulações anteriores, de modo que possíveis diferenças nos resultados devem derivar fundamentalmente de dois aspectos: primeiro, da interação entre, de um lado, a realimentação de assimetrias iniciais provocadas pela cumulatividade tecnológica introduzida; e de outro, o efeito de equalização dos *spillovers*, tanto mais significativo quanto maior for (a) a assimetria com que as firmas podem se beneficiar umas das outras (em favor das firmas “atrasadas”), e (b) a taxa de *spillovers* (ou, inversamente, quanto menor for o grau de apropriabilidade do esforço de P&D das firmas). Segundo, da forma funcional adotada para representar a trajetória tecnológica das firmas ao explorarem, gradualmente, as oportunidades tecnológicas que as conduziram para a fronteira tecnológica – com as inovadoras seguindo de modo mais aproximado do que as imitadoras, que podem alcançar a fronteira apenas indiretamente, já que estão atreladas ao desempenho daquelas em termos de produtividade.

Dado o propósito comparativo desses exercícios, os efeitos da mudança dos parâmetros ligados ao processo de “depreciação” da base de conhecimento, o grau de codificação do conhecimento e os demais parâmetros associados aos *spillovers* *intra*-industriais sobre o desempenho das firmas não serão avaliados. Observaremos apenas o tipo de relação que o desempenho das firmas guarda com seu grau de “competência tecnológica” e em que medida alterações neste podem provocar mudanças naquele.

(a) **Produtividade:** essa é uma das variáveis cuja trajetória, como já era esperado, apresenta diferenças mais evidentes com aquela obtida no regime *science-based*. O resultado decorre de dois aspectos: de um lado, o formato funcional escolhido (logístico ou sigmóide) para representar a média da distribuição da qual é extraída a produtividade das firmas inovadoras bem-sucedidas no primeiro estágio do processo de busca. O formato logístico permite que representemos fases distintas no processo de exploração das oportunidades tecnológicas.

Figura 6

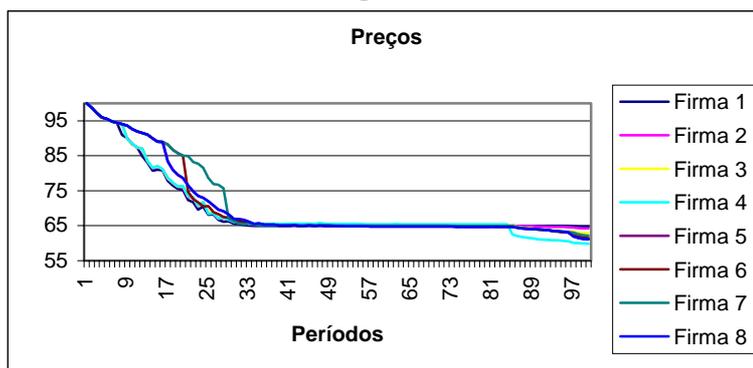


Por outro lado, como não há qualquer garantia de que a produtividade assim obtida será superior àquela que a firma obteve em período passado recente, pode ocorrer que a firma se mantenha em um nível de produtividade relativamente constante enquanto sua base de conhecimento vai crescendo (cujo efeito sobre a probabilidade de obter um sucesso é compensado pela redução da competência tecnológica); daí porque o sucesso em períodos posteriores possa provocar aumentos mais acentuados da produtividade até estabilizar-se em torno do nível dado pela fronteira tecnológica. As discontinuidades e o formato irregular são decorrências das variações de grandeza relativamente elevada (e não unitária, ou próxima disso) na base de conhecimento, que provoca saltos na produtividade média que pode ser obtida. Em outras simulações, os resultados eram menos descontínuos mas as firmas praticamente “saltavam” as fases iniciais, logo alcançado a fronteira¹⁵.

¹⁵ Mais adiante, observaremos como um tratamento independente da base de conhecimento, que cresce de modo exógeno (como originalmente é feito no modelo NW, mas mantendo o formato logístico) e ainda com uma fronteira fixa, produz trajetórias mais “suaves”.

(b) Preços:

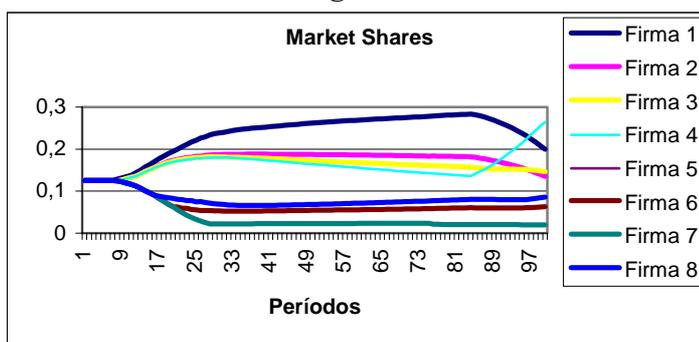
Figura 7



A trajetória dos preços reflete em grande medida a trajetória da produtividade das firmas, mas sua direção é praticamente uma reprodução da trajetória obtida no regime *science-based*; mais uma vez, as firmas inovadoras imprimem o ritmo de declínio nos preços. O valor final observado é ligeiramente menor do que aquele obtido anteriormente, provavelmente em razão de o nível final de produtividade alcançado ser maior. As simulações evidenciam também, como se imaginava, que a obtenção de novas tecnologias condiciona a dinâmica dos preços: embora as vantagens competitivas pareçam provir de pressões da própria rivalidade existente na indústria para adotar estratégias de preço mais agressivas (menor margem de lucro), neste padrão de concorrência elas derivam fundamentalmente do sucesso tecnológico das firmas, que pode vir a ser sancionado ou não pela demanda, dependendo da forma como as firmas distribuem as vantagens de custo decorrentes do avanço tecnológico entre preço e *mark-up*.

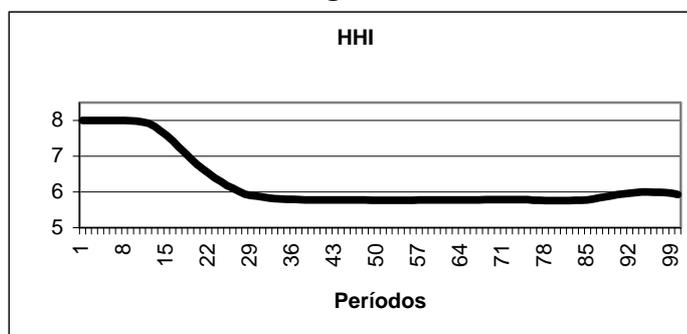
(c) *Market share*: o desempenho das firmas em termos de *market share* (Figura 9) apresenta características similares aos resultados obtidos sob o regime *science-based*: mantém-se a dispersão inicial entre as firmas inovadoras e imitadoras e a mudança de posição é restrita ao grupo de firmas que compartilham do mesmo tipo de estratégia tecnológica (veja-se Figura 5). O fato de a firma 1, a partir de certo período, reduzir seu *market share* está associado à velocidade com que sua trajetória tecnológica alcançou a fase de esgotamento. Observe-se que a firma 4 vai gradualmente assumindo a posição de líder porque mantém regularmente um elevado nível de “competência tecnológica” – ou seja, a partir de certo período foi a que mais se beneficiou do efeito da cumulatividade tecnológica (vide Figura 11 abaixo). Entre as imitadoras há, até mesmo, desempenhos idênticos (caso das firmas 5 e 8); em geral, conseguem “sobreviver” ainda que em posições pouco significativas.

Figura 8



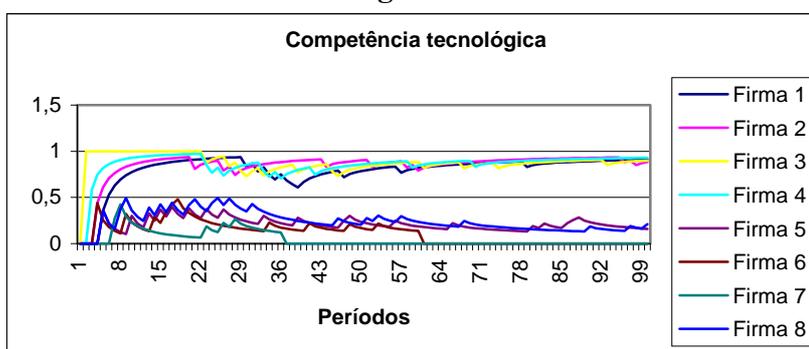
(d) **Grau de Concentração HHI (Índice de Hirschman- Herfindahl invertido)**¹⁶: embora o grau de concentração seja semelhante ao final das simulações, a Figura 10 evidencia um processo de concentração muito mais veloz. A indústria converge mais rapidamente para um certo nível de concentração (próximo ao verificado no regime anterior) em razão dos efeitos da cumulatividade nos primeiros períodos, que acentua as assimetrias iniciais, gerando concentração em favor das firmas inovadoras, cujo dispêndio em P&D é maior.

Figura 9



(e) **“Competência tecnológica”**: os resultados obtidos indicam, como era esperado, que o desempenho das firmas em termos de *market share* está correlacionado diretamente com seu nível de competência tecnológica. As firmas inovadoras exibiram maior domínio da trajetória tecnológica percorrida, mantendo níveis maiores exatamente porque o intervalo de tempo entre os sucessos consecutivos de suas estratégias tecnológicas era relativamente menor do que aquele observado entre as firmas imitadoras.

Figura 10



4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo de *busca* tecnológica destinado a introduzir, essencialmente, três elementos característicos da dinâmica industrial ausentes do processo de *busca* do modelo Nelson-Winter reproduzidos por uma série de outros modelos evolucionários de dinâmica industrial: (1) cumulatividade tecnológica, (2) acumulação de conhecimento e capacitações tecnológicas a partir do próprio esforço de P&D das firmas – que viria a ser a variável chave na endogeneização de suas trajetórias tecnológicas (em termos de produtividade) e (3) *spillovers* de P&D (*intra* e *extra*-industriais).

Os exercícios de simulação compararam as trajetórias das variáveis que permitem avaliar o desempenho das firmas em uma indústria e o grau de concentração nesta em dois regimes tecnológicos: *science-based*, seguindo o tratamento dado no modelo NW ao processo de *busca* tecnológica; outra com regime tecnológico “hipercumulativo”, onde o processo de *busca* segue as formulações propostas anteriormente. Os resultados, preliminares e bastante gerais, indicam que sob o regime “hipercumulativo”

¹⁶ Esse índice indica o número de firmas que possuem o mesmo tamanho que produziria um índice de Hirschman-Herfindahl de mesmo valor (cf. Possas, Koblitz *et al.*, 2001, p. 364). Quanto menor este valor, maior é a concentração da indústria.

se acentua a dispersão entre firmas inovadoras e imitadoras que existia inicialmente na indústria em regime *science-based*, embora os benefícios assimétricos dos *spillovers* combinado ao fato de as firmas inovadoras rapidamente atingirem a fase de esgotamento de suas trajetórias, dê início a um processo de reversão do desempenho das firmas (em termos de *market share*) mas com a peculiaridade de provocar mudanças apenas entre as firmas que compartilham do mesmo tipo de estratégia tecnológica, não chegando a mudar o desempenho geral de ambos os tipos de firma. As trajetórias dos preços e do grau de concentração na indústria, embora sigam as mesmas tendências observadas no regime *science-based*, mostraram velocidades distintas: no caso dos preços, a continuidade de sua redução estava condicionada ao crescimento mais ou menos contínuo da produtividade; no caso da concentração do mercado, embora os resultados obtidos ao fim de 100 períodos sejam próximos, no regime “hipercumulativo” ocorreu uma rápida concentração da indústria mesmo tendo todas as firmas “sobrevivendo” ao longo dos períodos. A razão disto parece estar vinculada ao efeito da cumulatividade tecnológica sobre o desempenho inicial das firmas: as vantagens obtidas inicialmente foram continuamente reforçadas ao menos enquanto existiam oportunidades tecnológicas a serem exploradas. O esgotamento das oportunidades tecnológicas permitiu que outras firmas obtivessem vantagens enquanto as firmas líderes (todas inovadoras) haviam esgotado suas possibilidades de obter avanços tecnológicos. Em ambos os ambientes tecnológicos, por assim dizer, as estratégias foram eficazes em garantir sobrevivência das firmas embora com um desempenho sensivelmente menor para as imitadoras no regime “hipercumulativo”.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J. “Endogenous R&D spillovers and industrial research productivity”. *NBER Working Papers*, n. 7484, 2000.
- AGHION, P.; HOWITT, P. “A Model of Growth through Creative Destruction”, *Econometrica*, vol. 60, n. 2, pp. 323-351, 1992.
- AGHION, P. *et al.* “Competition, Imitation and Growth with Step-by-Step Innovation”, *Review of Economic Studies*, v. 68, n. 3, pp. 467-492, 1991.
- ANTONELLI, C. “Economics of Knowledge and the governance of commons knowledge”. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 1, n. 1, p. 29-48, jan-jun, 2002.
- BADDELEY, A. *Human memory: Theory and practice*. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon, 1990.
- BALCONI, M. “Codification of technological knowledge, firm boundaries and cognitive ‘barriers’ to entry”, *DYNACOM Working Paper*, 2000.
- CANIËLS, M. C. J., VERSPAGEN, B. “Barriers to knowledge spillovers and regional convergence in a evolutionary model”. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 11, n. 3, p.307-329, 2001.
- CHIAROMONTE, F. & DOSI, G. “The microfoundations of competitiveness and their macroeconomic implications”. In: FORAY, D. & FREEMAN, C. (eds.). *Technology and the Wealth of Nations: the dynamics of constructed advantages*. London, Pinter Publishers, 1993.
- COHEN, W.M., LEVINTHAL, D. A. “Innovation and learning: the Two faces of R&D”. *The Economic Journal*, v. 99 (sept.), p. 569-596, 1989.
- DOSI, G. “Sources, procedures and microeconomics effects of innovation”. *Journal of Economic Literature*, 26, Sept, 1988.
- _____. “The Research on innovation diffusion: an assessment. In: DOSI, G. *Innovation, Organization and Economic Dynamics*. London: Edward Elgar, pp.115-143, 1991.
- _____. “The contribution of economic theory to the understanding of a knowledge-based economy”. In: OECD, *Employment and growth in the knowledge-based economy*, Paris, 1996.
- DOSI, G., NELSON, R. “An introduction to evolutionary theories in economics”. *Journal of Evolutionary Economics*, 4, p. 153-172, 1994.
- ELIASSON, G., DAY, R.D (eds.). *The Dynamics of Market Economies*, North-Holland, Amsterdam, 1986.
- FREEMAN, C. “The economics of technical change”. *Cambridge Journal of Economics*, v. 18, p. 463-514, 1994.

- GORT, M., WALL, R.A. "The evolution of technologies and investment in innovation". *The Economic Journal*, v. 96 (sept.), p. 741-757, 1986.
- GRILICHES, Z. "The Search for R&D Spillovers". *Scandinavian Journal of Economics*, v. 94, pp. 29-48, 1992.
- GRIMALDI, R., TORRISI, S. "Codified-Tacit and General-Specific Knowledge in the Division of Labour among Firms. A Case Study of the Software Industry", *Research Policy*, 2001.
- GROSSMAN, G. M., HELPMAN, E. "Endogenous Innovation in the Theory of Growth". *Journal of Economic Perspectives*, v. 8, n. 1, pp. 23-44, 1994.
- JAFFE, A. B. "Technological Opportunity and Spillovers of R&D". *American Economic Review*, v. 76 (dec.), pp. 984-1001, 1986.
- KWASNICKI, W. "Innovation regimes, entry and market structure". *Journal of Evolutionary Economics*, v. 6, n.4, p. 375-409, 1996.
- LLERENA, P., OLTRA, V. "Diversity of innovative strategy as a source of technological performance". *DRUID Working Paper* n. 00-1, Jan, 2000.
- LOGAN, G. D. *Toward an instance theory of automatization*. *Psychological Review*, v. 95, n. 4, PP. 492-527, 1988.
- MCKELVEY, M. "Evolutionary innovations: learning, entrepreneurship and the dynamics of the firm", *Journal of Evolutionary Economics*, v. 8, n.2, p. 157-175, 1998.
- MALERBA, F., ORSENIGO, L. "Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities". *Industrial and Corporate Change*, v. 6, n. 1, p. 83-117, 1997.
- NELSON, R. "Recent Evolutionary Theorizing About Economic Change". *Journal of Economic Literature*, v. 33, pp. 48-90, 1995.
- NELSON, R., WINTER, S. *An evolutionary theory of economic change*, Belknap Press, Cambridge, 1982.
- NOOTEBOOM, B. "Innovation, learning and industrial organization". *Cambridge Journal of Economics*, v. 23, n. 2, pp. 127-150, 1999.
- OLTRA, V. e YILDIZOGLU, M. "Learning and Expectations in R&D Decisions", *Working Papers Beta-theme (UMR n. 7522 – CNRS)*, PEGE, Universite Louis Pasteur, Strasbourg, 1998.
- PAVITT, K. "Sectoral Patterns of Technical Change: towards a taxonomy and a theory". *Research Policy*, v. 13, 1984.
- POSSAS, M. L. "Antecedentes e perspectivas teóricas da economia do desenvolvimento numa abordagem evolucionária", *Revista Nexos Econômicos*, CME/UFBa, v. 1, jul, 1999.
- POSSAS, M. L., KOBLITZ, A. C. V., LICHA, A. L., OREIRO, J. L., DWECK, E. "Um modelo evolucionário setorial", *Revista Brasileira de Economia*, 55(3), p. 333-377, jul. /set., 2002.
- ROMER, P. M. "The Origins of Endogenous Growth". *Journal of Economic Perspectives*, v. 8 (Winter), pp. 3-22, 1994.
- SAHAL, D. *Patterns of technological innovation*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1981.
- SILVERBERG, G., VERSPAGEN, B. "Learning, innovation and economic growth: a long-run model of industrial dynamics". *Industrial and Corporate Change*, v. 3, n. 1, p. 199-223, 1994.
- SILVERBERG, G., DOSI, G., ORSENIGO, L. "Innovation, diversity and diffusion: a self-organization model. *The Economic Journal*, v. 98 (Dec.), n. 393, p. 1032-1054, 1988.
- STERNBERG, R. *Cognitive psychology*. Nova York: Cambridge University Press, 1996.
- TIROLE, J. *The theory of industrial organization*. Cambridge: MIT Press, 1988.
- WINTER, S. "Schumpeterian Competition in Alternative Technological Regimes". *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 5, pp. 287-320, 1984.
- WINTER, S., DOSI, G., KANIOVSKI, G. Y. M. "Modeling industrial dynamics with innovative entrants". *Structural Change and Economic Dynamics*, v.11, pp. 255-293, 2000.
- ZACK, M. H. (ed.) *Knowledge and Strategy*. Boston: Butterworth-Heinemann, 1999.