

Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro

Working Paper

Modelagem evolucionária da dinâmica industrial (Parte 2): Trajetórias tecnológicas, capacidade de absorção e aprendizado

Texto para Discussão, No. 2146

Provided in Cooperation with:

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

Suggested Citation: Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro (2015) : Modelagem evolucionária da dinâmica industrial (Parte 2): Trajetórias tecnológicas, capacidade de absorção e aprendizado, Texto para Discussão, No. 2146, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/129908>

Standard-Nutzungsbedingungen:

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

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

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

Terms of use:

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

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

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

2146

TEXTO PARA DISCUSSÃO

**MODELAGEM EVOLUCIONÁRIA
DA DINÂMICA INDUSTRIAL (PARTE 2):
TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS,
CAPACIDADE DE ABSORÇÃO
E APRENDIZADO**

José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho



MODELAGEM EVOLUCIONÁRIA DA DINÂMICA INDUSTRIAL (PARTE 2): TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS, CAPACIDADE DE ABSORÇÃO E APRENDIZADO

José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho¹

1. Técnico de Planejamento e Pesquisa da Diretoria de Estudos Regionais, Urbanos e Ambientais (Dirur) do Ipea. *E-mail:* jose.vieira@ipea.gov.br.

Governo Federal

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
Ministro Nelson Barbosa

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Jessé José Freire de Souza

Diretor de Desenvolvimento Institucional

Alexandre dos Santos Cunha

Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

Roberto Dutra Torres Junior

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

Cláudio Hamilton Matos dos Santos

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

Marco Aurélio Costa

Diretora de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura

Fernanda De Negri

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

André Bojikian Calixtre

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais

Brand Arenari

Chefe de Gabinete

José Eduardo Elias Romão

Assessor-chefe de Imprensa e Comunicação

João Cláudio Garcia Rodrigues Lima

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

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

Texto para Discussão

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

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2015

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

ISSN 1415-4765

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

CDD 330.908

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão.

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

JEL: B52; O3; O33.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO7

2 TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS E MUDANÇA DE PARADIGMA9

3 INOVAÇÃO, APRENDIZADO E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO15

4 ESTRATÉGIAS DE APRENDIZADO E O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO20

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....26

REFERÊNCIAS27

SINOPSE

As mudanças tecnológicas são entendidas como parte de um processo de aprendizado. Mesmo que uma parcela do conhecimento seja construída fora das organizações, a adoção e a difusão das novas tecnologias passam pela capacidade dos agentes em absorver e reter informações. A capacidade gerencial de decodificar informações do meio ambiente e ampliar a produtividade está relacionada com a forma como os agentes econômicos absorvem conhecimento. Este texto para discussão se propõe a continuar a revisão da literatura, iniciada na parte 1 do estudo, a qual se concentrou na competição schumpeteriana, nos regimes tecnológicos, e na difusão dos novos conhecimentos. O trabalho procura analisar os principais modelos que tratam das trajetórias tecnológicas, da capacidade de absorção, e do aprendizado. Após a leitura das partes 1 e 2, fica clara a importância destes conceitos para o entendimento da acumulação de capital e do crescimento da produtividade.

Palavras-chave: economia evolucionária; mudança tecnológica; inovação.

ABSTRACT

Technological changes are understood as part of a learning process. Even if a share of knowledge is built outside organizations, the adoption and diffusion of new technologies go through the ability of agents to absorb and retain information. Managerial ability to decode external information and increase at the same time productivity is related to how economic agents absorb knowledge. This study aims to continue the literature review that begun in Part 1, which focused on the Schumpeterian competition, technological regimes and diffusion of new knowledge. This article analyzes the main models that address to technological trajectories, absorptive capacity and learning process. After reading both parts (1 and 2), it is clear the importance of these evolutionary concepts for understanding capital accumulation and growth productivity.

Keywords: evolutionary economics; technological change; innovation.

1 INTRODUÇÃO

A mudança tecnológica não pode ser analisada como uma explicação residual ou uma medida da ignorância¹ do progresso técnico, ou ainda como aquilo que é desconhecido. Vale ressaltar que, mesmo que parte do conhecimento tecnológico seja embarcada nos insumos produtivos, a dinâmica de absorção deste conteúdo se dá mediante o mecanismo de aprendizado dos agentes e a verticalização e integração das cadeias produtivas.

O comportamento das firmas está inserido numa dinâmica de busca tecnológica de diferenciação de produto e de processos, e o investimento é ajustado conforme as estratégias competitivas.² A decisão de investir é estabelecida num ambiente de elevada incerteza, e seus resultados se dão fora do equilíbrio. Os agentes visam à obtenção de vantagens competitivas, as quais possam proporcionar lucros de monopólios.³ A diversidade entre os agentes pode ser resultado da mudança tecnológica. A imitação constitui uma força de equilíbrio (não uniforme, mas logística) do estado da tecnologia, no qual os potenciais imitadores têm acesso à tecnologia mais eficiente do mercado. A diversidade tecnológica resulta essencialmente do processo de inovação, o qual tem caráter cumulativo e promove descontinuidades na dinâmica do sistema.

Para Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988), a diversidade entre as firmas é uma característica inerente do ambiente industrial no contexto da mudança tecnológica. A tecnologia é caracterizada por variados níveis de proteção do conhecimento, pelas incertezas dos desfechos técnicos e comerciais dos esforços inovativos, pelas oportunidades que fomentam o avanço técnico, pela capacidade de inovar com base em inovações passadas, e pelas propriedades da natureza do conhecimento e da experiência em que as atividades inovativas estão baseadas. Ademais, como já identificado por Sahal (1981a, 1981b e 1985), Dosi (1982), Dosi (1984, cap. 2), David (1985), Arthur (1989), e Mowery e Rosenberg (2005), as tecnologias se desenvolvem relativamente ao longo de caminhos (ou trajetórias) moldados nas propriedades técnicas específicas, na busca por

1. Quanto ao peso elevado do resíduo, Abramowitz (1956, p.11) observou que *"This result is surprising in the lopsided importance which it appears to give to productivity increase, and it should be, in a sense, sobering, if not discouraging, to student of economic growth. Since we know little about the causes of productivity increase, the indicated importance of this element may be taken to be some sort of measure of our ignorance about the causes of economic growth (...)"*.

2. Conhecida por concorrência schumpeteriana, já que revisita as ideias de Schumpeter (1946; 1947, cap. 6, 7 e 8).

3. Confira Iwai (1981a; 1981b); Nelson e Winter (1982); Dosi (1984); Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988); e Metcalfe (2002).

regras e na acumulação de conhecimento incorporado em cada paradigma tecnológico. O contexto histórico define a dependência do caminho (*path dependence*), no qual o passado influencia o rumo das trajetórias futuras.

O processo de inovação possui papel fundamental na dinâmica competitiva dos agentes. A acumulação de competências e de conhecimentos tecnológicos, assim como a experiência adquirida, determina as atividades de inovação das firmas.⁴ O conhecimento tecnológico é gerado por firmas ou instituições estabelecidas no mercado. Enquanto algumas são especializadas no desenvolvimento da ciência básica, a qual corresponde aos conhecimentos fundamentais para a compreensão de fenômenos naturais, outras priorizam a criação de conhecimentos específicos, ou aplicados a certos usos e problemas industriais (Stokes, 2005; Dosi, 1988). Esta especialização tem por finalidade concentrar esforços num outro aspecto do conhecimento, que se apresenta como tácito (não público) ou codificado (elementos universais de domínio amplo).⁵

A possibilidade de codificar ou não o conhecimento determina em parte como serão os padrões de aquisição ou acumulação. Quanto mais codificado for o conhecimento, mais rápida será a sua transferência. No outro extremo, quanto menos codificado, ou seja, quanto maior for o conhecimento tácito, a sua difusão será mais lenta. Como as firmas dependem de sua base de conhecimento e das experiências passadas, a capacidade de inovação se diferencia entre os agentes. A tecnologia incorpora um conjunto de conhecimentos codificados e tácitos, os quais estabelecem distintos parâmetros de adoção e de difusão do conhecimento tecnológico entre os vários agentes (Dosi, 1988).

O trabalho discutirá a evolução da modelagem evolucionária da dinâmica industrial, analisando a trajetória tecnológica, a capacidade de absorção de conhecimento e o processo de aprendizado dentro das organizações. Procura-se apresentar o modelo de Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993), que apresenta um modelo de dois setores e o enfoque do paradigma tecnológico. Fica evidente, então, a necessidade de se trabalhar

4. "(...) a study of creative response in business becomes coterminous with a study of entrepreneurship. The mechanisms of economic change in capitalist society pivot on entrepreneurial activity" (Schumpeter, 1947, p. 150).

5. Para uma abordagem acerca da interação entre a ciência básica e a inovação tecnológica, ler o livro de Stokes (2005), que define o "quadrante de Pasteur" como sendo o esforço a ser buscado. O método de pasteurização é visto como uma combinação de objetivos na busca do entendimento mais amplo do conhecimento biológico e do uso aplicado às condições de saúde pública.

melhor a questão do aprendizado, dos efeitos de transbordamentos do conhecimento, e da capacidade de absorção do conhecimento externo. Nesse sentido, busca-se discutir o processo de aprendizagem e de acumulação do conhecimento. Será apresentado, de um lado, o trabalho empírico de Cohen e Levinthal (1989), no intuito de compreender a dinâmica da capacidade empresarial de absorção de conhecimento. Em seguida, como exemplificação da avaliação empírica, baseado em Llerena e Oltra (2002), tem-se a exposição do modelo de diversidade das estratégias inovativas como fonte do desempenho tecnológico das firmas.

2 TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS E MUDANÇA DE PARADIGMA⁶

Os trabalhos de Chiaromonte e Dosi (1992) e Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993) apresentaram o mesmo modelo, sendo este último estudo focado nas principais contribuições. O modelo bissetorial é uma tentativa explícita de integração de aspectos do modelo Nelson e Winter (1982), na formalização do processo inovativo, com o modelo Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988), com o objetivo de compatibilizar os regimes tecnológicos, o aprendizado e a difusão tecnológica, integrando, assim, os fundamentos micro e macro de forma efetiva.

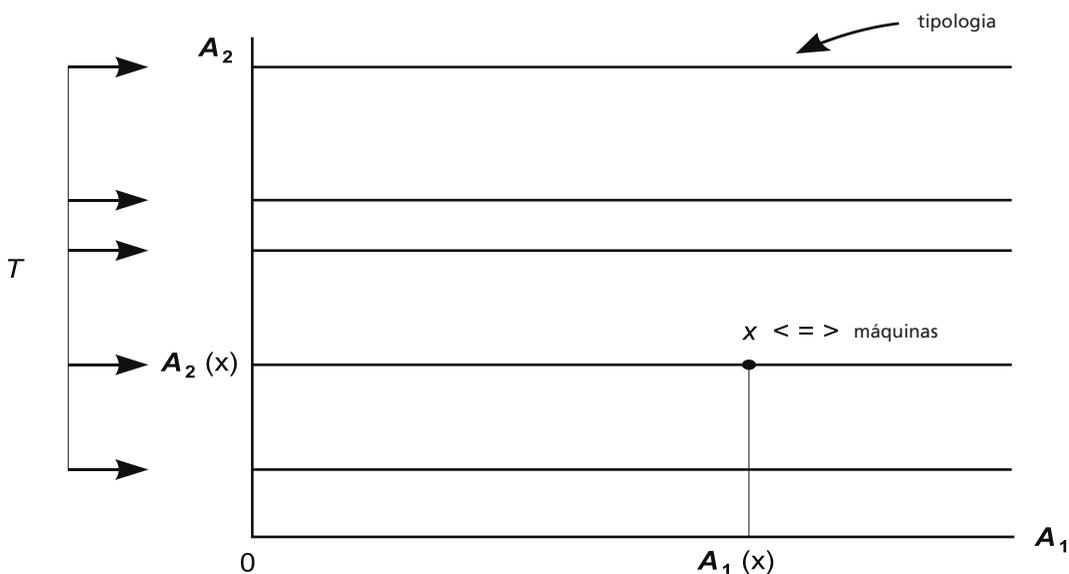
A formalização do progresso tecnológico permite explorar as trajetórias tecnológicas e a ocorrência de mudanças paradigmáticas (Dosi, 1984; 1988). Ademais, incorpora elementos keynesianos em sua análise. As condições de crescimento dependem crucialmente do espírito empreendedor dos agentes. Se a expectativa de demanda for elevada e as crenças nas oportunidades tecnológicas também, o crescimento agregado será alto. As decisões de produção e de realização do investimento, o qual está relacionado ao multiplicador de renda, determinam o nível de emprego agregado setorial da economia.

As alternativas de inovação são estabelecidas por uma gama de oportunidades tecnológicas não exploradas, ou mesmo pela contínua emergência de novas oportunidades. Assume-se que existem oportunidades não exploradas. Ainda assim, aquelas cujas explorações já estão em curso não esgotaram suas possibilidades. A inovação não

6. Para uma crítica em termos das estratégias da firma, dos efeitos dinâmicos da renda agregada e da constância probabilística entre paradigmas tecnológicos, ver Almeida (2004).

implica somente a aquisição de informações de processos acerca de novos produtos ou técnicas, mas a existência da gestão do conhecimento tácito e específico incorporado nos agentes. A capacidade de inovar é dependente dos conhecimentos gerenciais.

FIGURA 1
Oportunidades inovativas



Fonte: Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993, p.122).

De acordo com o figura 1, as oportunidades inovativas do setor 1 correspondem a uma produção de x máquinas numa determinada trajetória tecnológica (ou tipologia) de um determinado paradigma, sendo que a produção se associa a uma composição de técnicas produtivas ($A_1(x)$ para o bem final e $A_2(x)$ para a produção de máquinas). Esta definição permite o entendimento das mudanças ao longo de uma trajetória tecnológica, no contexto de certo paradigma, e mudanças do próprio paradigma. Mudanças ao longo da trajetória seriam representadas por incrementos em A_1 , mantida constante a produtividade A_2 . As mudanças dos paradigmas tecnológicos são representadas por mudanças tanto em A_1 quanto em A_2 , já que envolvem modificações substanciais na organização produtiva e na mudança tecnológica.

No que se refere ao modelo, são incorporadas algumas características fundamentais. A inovação envolve mudanças tanto em produtos quanto em processos, sendo do tipo “incremental” e “radical”. O crescimento da renda expande as oportunidades

inovadoras ao longo do tempo. O aprendizado é cumulativo e dependente do histórico de inovações, sendo as habilidades de inovação e imitação específicas de cada firma. Existem externalidades do aprendizado, mesmo que os benefícios da inovação e da adoção tecnológica possam ser apropriados pela firma que inova. O grau de facilidade em imitar varia entre as firmas já estabelecidas, e o aprendizado de uso de um tipo particular de equipamento é transferido parcialmente dos agentes que adotam a tecnologia para a indústria como um todo.

Tem-se a estruturação de dois setores, segundo a qual as oportunidades inovativas do setor 1 correspondem à produção de máquinas e equipamentos distintos, sendo estes utilizados como técnica produtiva do setor 2, que produz um bem homogêneo. As firmas do setor 1 inovam, num processo probabilístico similar ao do modelo Nelson e Winter (1982), no intuito de aumentar a eficiência produtiva das máquinas (inovação incremental), bem como de encontrar novas técnicas mais eficientes de produção (inovação radical). As oportunidades tecnológicas do setor 2 são do tipo incorporada. Em outras palavras, seguindo a taxonomia de Pavitt (1984), citada por Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993), o setor 2 é um segmento dominado pelos fornecedores.

Como especificado por Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993), as máquinas produzidas (x) estão relacionadas a dois tipos de produtividade técnica (medida por unidade de trabalho): a primeira usada na produção de bens finais $A_1(x)$, e a segunda utilizada para produzir máquinas $A_2(x)$. Assim, as máquinas são constituídas por uma combinação de duas produtividades, correspondendo a um ponto não negativo de um espaço bidimensional (\mathfrak{R}_+^2). Define-se uma tipologia de máquinas como sendo uma escolha de pontos, $x = (A_1, A_2)$ em \mathfrak{R}_+^2 , que pertencem a um mesmo paradigma dado por: $(x \in \mathfrak{R}_+^2 : A_1 \in \mathbb{N}, e A_2 = a_2), a_2 \in \mathbb{N}$.

A escolha de uma trajetória tecnológica, $T(\cdot)$, cresce via um processo estocástico de dois estágios, sendo o primeiro determinante do acesso ao segundo. No primeiro estágio, a determinação de um novo paradigma tecnológico é especificada por um evento de uma distribuição de Bernoulli com probabilidade igual a:

$$\Pr(AT(t) = 1) = p = 1 - \exp(-r.Y_m(t)), \quad (1)$$

em que $Y_m(t)$ representa o crescimento da renda e r um parâmetro representativo das oportunidades científicas que amplia ou não o efeito da renda, sendo $AT \sim B(1, p)$ onde a probabilidade de sucesso de alcançar um novo paradigma é dada por p e o acesso representado por $AT(\cdot) = 1$.

Se o acesso de um novo paradigma ocorre, haverá a especificação de um novo valor de A_2 ao conjunto T . Este valor é retirado de uma variável aleatória com distribuição uniforme no intervalo discreto, tendo o limite inferior de $m = A_2^*(t-1)$ e o superior de $n = (1+h)A_2^*(t-1)$,⁷ em que $A_2^* = \max(T(t-1))$. Sendo $AT(t) = 1$, tem-se:

$$T(t) - T(t-1) = A_2; A_2 \sim U[m, n]. \quad (2)$$

No intuito de acessar uma nova máquina x_i^g , cuja técnica incorporada pertença a um novo paradigma tecnológico, cada agente do setor 1 segue um processo estocástico de dois estágios (similar ao processo descrito), sendo a probabilidade de acesso a uma nova geração de máquinas no tempo t definida por:

$$\Pr(AG_i(t) = 1) = 1 - \exp(-r_g \cdot I_i^g(t)), \quad (3)$$

onde I_i^g representa o investimento em busca inovativa de cada firma, e r_g um parâmetro do sistema. As firmas exploram o conjunto de oportunidades tecnológicas mediante os gastos em investimentos. Se o acesso aleatório ocorrer ($AG_i(t) = 1$), uma nova máquina será determinada com valores randômicos das propriedades técnicas (A_1 e A_2) resultantes de uma distribuição de probabilidade uniforme, cujo suporte será definido pelo conjunto de pontos ($x_i^g = (A_1; A_2)$) dado por:

$$A_{2i}^g(t) = \max(T(t) \cap [A_2(x_i(t)); A_2(x_i(t)) + \lambda \cdot \theta_i(t)]), \quad (4)$$

e a primeira coordenada será retirada do ponto máximo e definida por:

$$\max(0; A_1(x_i(t)) - a; A_1(x_i(t)) + a), \quad (5)$$

7. Em que h é uma taxa exógena que amplia ou desloca a fronteira potencial do conjunto de oportunidades inovativas, ou melhor, a eficiência econômica de alcançar oportunidades tecnológicas superiores aos padrões já explorados.

sendo $a = (1/\lambda)(A_{2i}^g(t)/A_1(x_i(t)))$, λ um parâmetro do sistema que regula a produtividade máxima potencial da máquina para produzir bens finais (inovação incremental), e $\theta_i(t) = A_1(x_i(t))/A_2(x_i(t))$ o grau de esgotamento da trajetória tecnológica de certa máquina com valor constante de A_2 . Assim, a exploração ao longo de uma dada trajetória, de um lado, induz a uma retração relativa de oportunidades de inovações incrementais, mas, por outro, expande o potencial de escolhas de novas máquinas em outras trajetórias.

Os agentes podem também imitar via um processo estocástico de dois estágios. A probabilidade de acesso a uma imitação é dada por:

$$\Pr(AM_i(t) = 1) = 1 - \exp(-r_m \cdot I_i^{m*}(t)), \quad (6)$$

tal que $I_i^m(t)$ é o investimento em busca imitativa do agente i , e r_m , um parâmetro do sistema que diferencia o grau de apropriação das inovações. Quanto maior for r_m , maior será a retenção e apropriação do conhecimento e menor a probabilidade de imitação.

Se ocorrer um acesso à imitação, a firma não poderá garantir automaticamente a melhor técnica disponível na indústria, já que o processo imitativo estará condicionado ao distanciamento tecnológico entre a técnica que a firma domina e o conjunto das técnicas potencialmente copiáveis, bem como ao grau de difusão entre os produtores de máquinas.

O ponto de imitação será a realização de $(x_i^m(t))$ numa distribuição de probabilidades definida por uma escolha $Z_i(t) = X(t)/X_i(t)$, onde $X(t)$ é uma escolha de pontos conhecidos do complexo industrial do setor 1, e $X_i(t)$, uma escolha de pontos conhecidos da firma imitadora. A probabilidade de imitar uma máquina qualquer no conjunto Z_i é inversamente proporcional à distância (expressa numa métrica ortogonal) entre os pontos $z \in Z_i(t)$ e a escolha $X_i(t)$.

$$\text{Assim, } D_{MET}(z, X_i(t)) = \min_{x \in X_i(t)} \left[(z - x)' \cdot MET \cdot (z - x) \right]^{1/2},$$

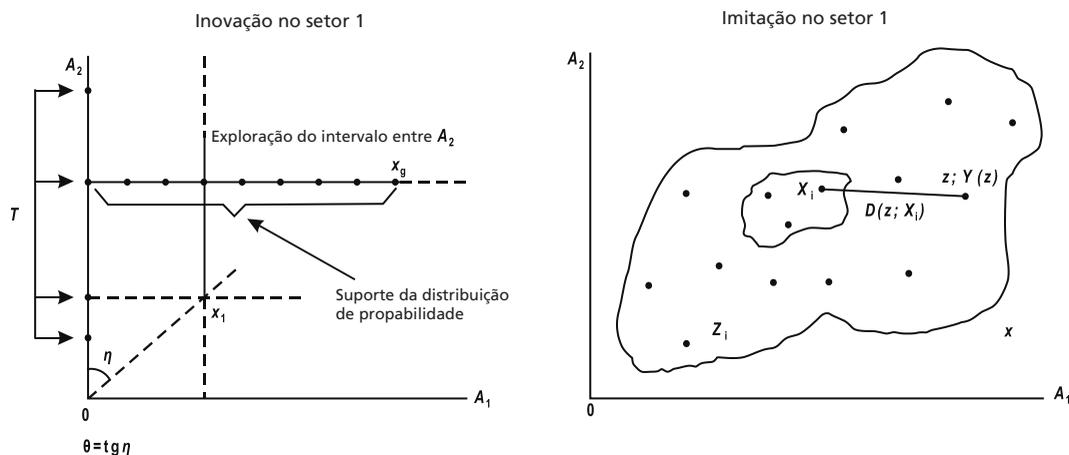
onde $MET = \begin{pmatrix} met1 & 0 \\ 0 & met2 \end{pmatrix}$. A probabilidade é expressa pelo percentual dos agentes que, no momento t , conhecem as máquinas do conjunto $Z_i, \gamma(z, t)$. Então, a probabilidade de imitar qualquer máquina, $z \in Z_i(t)$, é dada por:

$$\Pr(x_i^m(t) = z) = f(D(z, x_i), \gamma(z, t)) \tag{7}$$

tal que $\frac{\partial \Pr(x_i^m(\cdot) = z)}{\partial D} < 0$ e $\frac{\partial \Pr(x_i^m(\cdot) = z)}{\partial \gamma} < 0$, o que mostra a ideia de que é mais fácil copiar aquelas máquinas com maior proximidade tecnológica com as técnicas conhecidas pelo agente imitador.

A figura 2 mostra a representação do processo de inovação e imitação do setor produtor de máquinas. No que tange à inovação, a trajetória tecnológica percorrida pela firma é condicionada ao esforço inovativo (gastos em pesquisa e desenvolvimento) e ao crescimento da economia, condição que amplia as oportunidades tecnológicas e que gera inovações radicais (crescimento em A_2). Além disso, à medida que a firma faz avanços ao longo de uma trajetória (maiores valores de A_1), a probabilidade de operar num novo paradigma tecnológico é mais elevada. Quanto ao processo de imitação, as inovações são do tipo incremental, o que não altera a produtividade A_2 , mas influencia na eficiência técnica de A_1 .

FIGURA 2
Inovação e imitação no setor produtor de máquinas (setor 1)



Fonte: Chiaromonte, Dosi e Orsenigo (1993, p.130-131).

Quanto ao processo de difusão, aprendizado e produção no setor 2, o modelo segue a lógica do trabalho de Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988). O crescimento da produção depende da capacidade gerencial da firma do setor 2 na exploração da tecnologia adquirida do setor 1. O uso de uma nova tecnologia depende do grau de conhecimento e experiência da firma, na qual as decisões de investimento baseiam-se em termos de lucratividade e eficiência produtiva futura. No decorrer do processo de difusão, tem-se um efeito de transbordamento do aprendizado interno da firma aos seus concorrentes, o que amplia o conhecimento público. Os ganhos de eficiência ao longo do tempo, em termos de aprendizado, aumentam o conhecimento público no uso da tecnologia. Assim, o setor 2, ao aumentar a sua eficiência produtiva (aumentos em A_1), contribui para o aumento da probabilidade de acesso a uma nova trajetória tecnológica (ou mesmo paradigma) do setor 1. Nesse sentido, os ganhos de aprendizado das firmas do setor 2, bem como a demanda por máquinas, podem influenciar os resultados do progresso técnico na economia como um todo.

O progresso técnico é estabelecido pela produção do setor fornecedor de tecnologia. Todavia, a relação dinâmica com o setor receptor é capaz de promover discontinuidades tecnológicas. Este modelo pode ser representativo do caso agrícola, como visto por Vieira Filho (2009). O setor 1 representaria o segmento fornecedor de insumos tecnológicos, enquanto o setor 2 estaria relacionado à produção agrícola. Vale ressaltar que o setor 2 não é apenas aquele *dominado pelos fornecedores* com uma produção passiva no processo de mudança tecnológica, uma vez que existe um efeito de ação e reação na evolução produtiva dos dois setores conjuntamente. Quanto maior for o ganho produtivo no setor 2, maiores serão as oportunidades tecnológicas no setor 1.

O produtor agrícola investe a ponto de inovar, mas fundamentalmente no intuito de aumentar o seu aprendizado e a sua capacidade de absorção de conhecimento externo. Foster e Rosenzweig (1995) apontam para a importância das fontes externas de conhecimento, sendo elevada a produtividade agrícola por intermédio da acumulação de conhecimento, seja em termos do aprendizado pela experiência e adaptação, ou em termos dos efeitos de transbordamento do conhecimento em rede.

3 INOVAÇÃO, APRENDIZADO E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO

A habilidade de reconhecer, assimilar e aplicar o valor de uma nova informação de fontes externas no uso comercial é um fator crítico nas inovações gerenciais da firma. Os estudos de Cohen e Levinthal (1989 e 1990) são pioneiros no tratamento da inovação e do aprendizado.

As fontes externas de conhecimento são fundamentais no processo de inovação tecnológica, mesmo no âmbito organizacional. O investimento tem um papel dual na geração de inovações ou imitações, bem como no desenvolvimento da capacidade de absorção de conhecimentos externos.

Evenson e Kislev (1973), como mencionado por Cohen e Levinthal (1989), fazem análise similar ao observar a transferência internacional de tecnologia agrícola, embora numa outra perspectiva. A revolução verde intensificou os esforços na mudança tecnológica agrícola com a transferência de conhecimento externo. Tais esforços tinham como objetivo aumentar a produção agrícola por meio de seleção local, adaptação de novas cultivares e incrementos marginais na produtividade com a incorporação de novos métodos agrícolas de produção. De acordo com Cohen e Levinthal (1990, p.128),

The ability to exploit external knowledge is thus a critical component of innovative capabilities. We argue that the ability to evaluate and utilize outside knowledge is largely a function of the level of prior related knowledge. At the most elemental level, this prior knowledge includes basic skills or even a shared language but may also include knowledge of the most recent scientific or technological developments in a given field. Thus, prior related knowledge confers an ability to recognize the value of new information, assimilate it, and apply it to commercial ends. These abilities collectively constitute what we call a firm's absorptive capacity.

Isto implica que a capacidade de absorção é fruto da acumulação de conhecimento prévio, sendo este oriundo dos gastos em investimento de pesquisa e desenvolvimento. Conforme a estrutura do modelo, o estoque de conhecimento da firma (z_i) é função dos investimentos realizados em pesquisa e desenvolvimento, bem como da capacidade de absorção de conhecimentos externos. Assim, o estoque de conhecimento é representado por incrementos do estoque tecnológico e do conhecimento científico, assumindo que z_i cresce com o aumento da receita bruta (Π^i), em que $\partial \Pi^i / \partial z_i > 0$, mas a taxas decrescentes, $\partial^2 \Pi^i / \partial z_i \partial z_i < 0$. O estoque de conhecimento da firma i é dado por:

$$z_i = M_i + \gamma_i \left(\theta \cdot \sum_{j \neq i} M_j + T \right), \quad (8)$$

onde M_i é o investimento da firma em pesquisa e desenvolvimento e $\sum_{j \neq i} M_j$ o investimento do restante da indústria; γ_i é a capacidade de absorção, sendo uma fração do conhecimento de domínio público que a firma é capaz de assimilar e explorar; θ é o

grau dos efeitos de transbordamento do conhecimento na indústria; e T é o nível de conhecimento externo da indústria – proveniente, por exemplo, de universidades ou mesmo de laboratórios públicos de pesquisa.

O efeito de transbordamento do conhecimento varia entre $0 \leq \theta \leq 1$. Quanto mais próximo de um, o conhecimento gerado pelo esforço inovativo de outras firmas será totalmente dissipado no mercado. Quanto mais próximo de zero, pode-se dizer que os benefícios da pesquisa serão exclusivamente apropriados pela firma que conduz os investimentos, evitando o transbordamento para o mercado.⁸ A apropriação da pesquisa realizada por outras firmas é constituída por meio da interação entre a γ_i e o θ , indicando que a firma não pode assimilar o conhecimento que não for transbordado para o mercado. A firma não pode assimilar passivamente o conhecimento externo disponível. Nesse sentido, é preciso despendar investimentos no intuito de absorver parte do produto da pesquisa dos concorrentes.

A capacidade de absorção varia entre $0 \leq \gamma_i \leq 1$. Se $\gamma_i = 1$, a firma é capaz de absorver todo o conhecimento que está no domínio público. Caso contrário, quando $\gamma_i = 0$, a firma não absorve nenhum tipo de conhecimento externo. Os gastos em pesquisa e desenvolvimento contribuem para o aumento da capacidade de absorção, sendo tal capacidade crescente em relação aos investimentos ($\partial\gamma_i/\partial M_i > 0$) com taxas decrescentes ($\partial^2\gamma_i/\partial M_i \partial M_i < 0$).

Além do investimento, a capacidade de absorção é função da variável β , a qual caracteriza a complexidade do conhecimento e a dificuldade do aprendizado ($\gamma_i = f(M_i; \beta)$). Quando o conhecimento externo é menos identificado (menos codificado) para um particular uso ou necessidade da firma, os gastos específicos de cada firma em pesquisa e desenvolvimento se tornam mais importantes no reconhecimento, na exploração e na assimilação da informação. As universidades e os laboratórios públicos de pesquisa são fontes geradoras de pesquisa básica e, conseqüentemente, de conhecimento menos identificado. No outro extremo, os contratos com laboratórios privados de pesquisa ou mesmo fornecedores de insumos produzem conhecimento mais codificado.

8. Políticas de direitos de propriedade e de patentes podem influenciar na magnitude dos efeitos de transbordamentos. As políticas tecnológicas visam elevar o aprendizado e a acumulação de conhecimento das firmas. Para uma modelagem evolucionária que discute os modos de intervenção das políticas tecnológicas, ver Oltra (1997). Quanto a uma avaliação dos desdobramentos normativos e implicações para a política industrial, conferir Baptista (2000).

Por conseguinte, β traduz o grau de dependência da capacidade de absorção em relação aos gastos em pesquisa e desenvolvimento. Esta dependência é refletida em dois efeitos. No primeiro efeito, quanto mais elevado for β , mais a capacidade de absorção da firma dependerá dos próprios investimentos. Em outras palavras, quanto maior β , mais elevado será o impacto marginal do investimento na capacidade de absorção ($\partial^2 \gamma_i(M_i; \beta) / \partial M_i \partial \beta > 0$). Quanto ao segundo efeito, para um dado nível de investimento, a capacidade de absorção decresce com β (ou seja, $\partial^2 \gamma_i(M_i; \beta) / \partial \beta < 0$). Então, o crescimento de β aumenta, de um lado, o efeito marginal da pesquisa e desenvolvimento sobre a capacidade de absorção, mas diminui, por outro, o nível desta mesma capacidade. Quando o conhecimento externo se torna mais difícil de ser assimilado, este último efeito indica que a firma absorve menos informações para um dado nível de esforço de pesquisa.

As oportunidades tecnológicas referem-se às quantidades de conhecimento tecnológico extraindustrial (governo, universidades, laboratórios públicos, fornecedores de insumos etc.), o que é representado por T . Além disso, pode-se especificar outra dimensão das oportunidades tecnológicas como sendo a variável f , a qual representa o grau em que a unidade do novo conhecimento melhora a eficiência tecnológica dos processos ou produtos da firma em termos de lucratividade. Quanto mais o conhecimento contribuir para o desempenho tecnológico, maiores devem ser os lucros empresariais, ou seja, $\partial^2 \Pi_i / \partial z_i \partial f > 0$.

Considera-se que a indústria é composta por n firmas com estratégias simétricas de pesquisa e desenvolvimento. A empresa escolhe um nível de pesquisa e desenvolvimento que maximiza os lucros, tomando como dados os níveis empresariais de pesquisa. Assim, as firmas procuram antecipar o efeito das mudanças de seus investimentos de acordo com o nível de conhecimento de seus competidores e, conseqüentemente, os efeitos destas mudanças nos seus próprios lucros – um tipo de equilíbrio simétrico de Nash. O equilíbrio é caracterizado por M_i^* , sendo este determinado pela igualdade do rendimento marginal da pesquisa e desenvolvimento (R) com o custo marginal desta pesquisa (suposto igual a um):

$$R = \frac{d\Pi_i}{dM_i} = \frac{\partial \Pi_i}{\partial z_i} \left[1 + \frac{\partial \gamma_i}{\partial M_i} \left(\theta \sum_{j \neq i} M_j + T \right) \right] + \theta \cdot \sum_{j \neq i} \gamma_j \frac{\partial \Pi_i}{\partial z_j}. \quad (9)$$

Como resultado, o lucro empresarial é função não somente do seu próprio conhecimento, mas também do conhecimento tecnológico das outras firmas (z_j) na indústria. No intuito de expressar a ideia de competitividade, o aumento do conhecimento dos concorrentes faz com que haja uma queda no lucro e no benefício marginal da firma ($\partial \Pi_i / \partial z_j < 0$ e $\partial^2 \Pi_i / \partial z_i \partial z_j < 0$, onde ∂z_j representa a mudança do nível de conhecimento dos competidores). Quando o conhecimento tem um grande impacto no desenvolvimento tecnológico, uma elevação nos níveis de conhecimento das firmas concorrentes é prejudicial à lucratividade da firma (sendo $\partial^2 \Pi_i / \partial z_i \partial f < 0$).

Foram estudadas as propriedades da variação do investimento da condição de equilíbrio (M_i^*) em relação às características do conhecimento (β - *ease of learning*), ao nível de transbordamento do conhecimento industrial (θ - *spillovers*), e às oportunidades tecnológicas (T).

Quanto ao conhecimento, a derivada da equação 9 (com o investimento no equilíbrio) em relação à complexidade do conhecimento terá o sinal sempre positivo (ou seja, $\partial M^* / \partial \beta > 0$). Um aumento da complexidade do conhecimento (ou redução da codificação do conhecimento externo) faz com que os gastos em pesquisa e desenvolvimento se tornem mais críticos para a capacidade de absorção da firma, o que significa uma elevação do custo por unidade de conhecimento. Quanto mais custosa for a absorção do conhecimento, maior será a necessidade da firma em investir na sua capacidade de absorção.⁹ Quanto aos níveis de capacidade de absorção dos competidores, na medida em que há um crescimento da complexidade do conhecimento, menor será a capacidade dos competidores em explorar os efeitos de transbordamentos da firma.

No que tange ao nível de transbordamento do conhecimento industrial, a derivada da mesma equação em relação ao parâmetro de *spillover* ($\partial M^* / \partial \theta$) apresenta sinal ambíguo, podendo ser positivo ou negativo, dado que há dois efeitos opostos. De um lado, com o aumento de θ , o desejo de assimilar o conhecimento gerado por outras firmas cresce e, conseqüentemente, induz ao crescimento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, ou seja, um efeito positivo. De outro, através de um efeito

9. Cohen e Levinthal (1989) mostram que, nos setores industriais relacionados à ciência básica, os gastos em pesquisa e desenvolvimento das firmas são mais elevados.

contraproducente, a firma não tem interesse em elevar o seu próprio investimento, mesmo com o crescimento de θ , já que parte do conhecimento gerado será transferida ao mercado. O efeito positivo é crescente de acordo com o grau de complexidade do conhecimento, da elasticidade-preço da demanda, e do número de firmas na indústria.¹⁰

Por fim, no que se refere às oportunidades tecnológicas, a derivada em relação ao nível de conhecimento externo da indústria ($\partial M^*/\partial T$) tem sinal igualmente indeterminado. O crescimento do conhecimento externo pode gerar um efeito de substituição, o que levaria a uma retração dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento das firmas. Ao mesmo tempo, no intuito de ampliar os benefícios a serem absorvidos das oportunidades tecnológicas, tem-se um estímulo aos investimentos. Quanto mais complexo for o conhecimento externo (β elevado), maior será o domínio do efeito de fomento aos investimentos.¹¹

4 ESTRATÉGIAS DE APRENDIZADO E O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

A diversidade das estratégias inovativas das firmas cria uma estrutura oligopolizada de mercado, bem como é fonte de eficiência dinâmica de longo prazo. De acordo com Llerena e Oltra (2002), as estratégias são divididas em dois tipos: *i*) uma interna, de busca pelo aprendizado; e *ii*) outra de aprendizado dado pelo conhecimento externo. A existência de firmas com distintas estratégias conduz às assimetrias de tamanho das firmas e de desempenho tecnológico diferenciado.

O modelo de estratégias de aprendizado foi baseado na modelagem de Nelson e Winter (1982) e Winter (1984); porém, enfatiza, como no modelo empírico de Cohen e Levinthal (1989; 1990), o lado dual das atividades de pesquisa e desenvolvimento, tanto no contexto de geração de inovações quanto no desenvolvimento de habilidades gerenciais de exploração do conhecimento externo e das oportunidades tecnológicas.

10. Os testes empíricos dos trabalhos de Cohen e Levinthal (1989; 1990) tendem a mostrar que o efeito contraproducente é dominante.

11. Na agricultura, espera-se que, com o crescimento do conhecimento externo, haja maior estímulo do nível de investimento em capacidade de absorção. Este efeito foi estudado por Vieira Filho e Silveira (2011).

A estrutura do modelo é idêntica à formulação matemática de Nelson e Winter (1982), em que a quantidade produzida é dada pela multiplicação entre a produtividade e o estoque do capital, por uma função de demanda inversa com elasticidade unitária e por uma lucratividade por unidade de capital. As firmas realizam investimentos a cada período em pesquisa e desenvolvimento e em expansão do estoque de capital, no intuito de manter ou mesmo crescer suas respectivas parcelas de mercado. No que tange ao processo de entrada e saída de firmas no mercado, mecanismo semelhante ao modelo de Winter (1984) é adotado, com definição de distintos parâmetros entre os grupos de firmas estudados. Todavia, o processo de aprendizado e o tratamento das estratégias inovativas são o diferencial do estudo de Llerena e Oltra (2002).

Tem-se a distinção entre o aprendizado interno e o externo. Além do mais, trabalha-se com duas categorias de firmas (cumulativa e não cumulativa), as quais se diferenciam em termos de estratégias de aprendizado. As firmas cumulativas correspondem a um tipo de organização que investe em pesquisa e desenvolvimento no intuito de acumular conhecimento tecnológico e gerar internamente inovações. Já a segunda categoria (não cumulativa) envolve um processo de inovação que depende das fontes externas de conhecimento. Conforme taxonomia de Malerba (1992), as firmas do tipo cumulativo adotam o processo de aprendizado pela busca (*learning-by-searching*), que é interno à firma e relacionado às atividades de pesquisa e desenvolvimento, as quais, por sua vez, buscam o desenvolvimento e a acumulação de novo conhecimento tecnológico. Enquanto isso, as firmas do tipo não cumulativo se referem ao aprendizado relativo ao avanço da ciência e tecnologia e aos efeitos de transbordamentos da indústria.

No que se refere à primeira categoria (o caso cumulativo), o investimento desejado depende do desempenho da firma em relação ao mercado. A taxa de investimento desejado em pesquisa e desenvolvimento por unidades de venda da firma i no tempo t (r_{it}^{des}) é determinada conforme a regra a seguir:

$$r_{it}^{des} = \begin{cases} r_{i,t-1}^{des} + \lambda(\bar{A}_t - A_{it}); & \text{se } A_{it} < \bar{A}_t \\ r_{i,t-1}^{des}; & \text{se } A_{it} \geq \bar{A}_t \end{cases} \quad (10)$$

onde \bar{A}_t é a produtividade média da indústria ponderada pela parcela de mercado ($\sum_{i=1}^n \mu_{it} \cdot A_{it}$, sendo μ_{it} a parcela de mercado da firma i no tempo t), e λ é um parâmetro

de adaptação do investimento em pesquisa e desenvolvimento que varia entre $0 < \lambda < 1$. Com base nesta regra, as firmas cumulativas aumentam os seus investimentos em pesquisa e desenvolvimento proporcionalmente ao distanciamento tecnológico do mercado.

O gasto efetivo em pesquisa e desenvolvimento é limitado entre a parcela desejada da receita em investir e o lucro líquido – o qual exclui do lucro bruto a depreciação do capital. Então, o gasto total em pesquisa e desenvolvimento (R_{it}) da firma i no tempo t é dado por:

$$R_{it} = \min(r_{it}^{des} \cdot P_t \cdot Q_{it}; \Pi_{it} - \delta K_{it}), \quad (11)$$

tal que ($P_t \cdot Q_{it}$) é a receita total da firma, Π_{it} o lucro bruto, e δ a depreciação do capital. O gasto em pesquisa e desenvolvimento da firma determina o nível de pesquisa (\bar{R}_{it}), que é uma média ponderada dos níveis passados de pesquisa e o gasto corrente de pesquisa e desenvolvimento. Este nível de pesquisa descreve a evolução dos gastos das firmas em pesquisa e desenvolvimento:

$$\bar{R}_{it} = \alpha_R \cdot \bar{R}_{i,t-1} + (1 - \alpha_R) \cdot R_{it}, \quad (12)$$

sendo α_R um parâmetro que pondera o nível de pesquisa passado e varia entre $0 < \alpha_R < 1$. As atividades de pesquisa e desenvolvimento permitem às firmas desenvolver e acumular novos conhecimentos tecnológicos, construindo habilidades específicas no gerenciamento das inovações.

O processo de aprendizado pela busca é descrito por uma função de acumulação do conhecimento que depende do investimento em pesquisa e desenvolvimento. O estoque acumulado de conhecimento da firma é dado pela seguinte equação:

$$z_{it} = (1 - \alpha_z) \cdot z_{i,t-1} + \bar{R}_{it}, \quad (13)$$

em que α_z é a taxa de depreciação do conhecimento. Assume-se que somente parte deste estoque de conhecimento tecnológico é explorável pelas firmas em suas atividades inovativas. O conhecimento tecnológico explorável (\tilde{z}_{it}) é representado por uma função logarítmica do conhecimento acumulado total:

$$\tilde{z}_{it} = \ln(1 + z_{it}). \quad (14)$$

Esta função implica retornos decrescentes em pesquisa e desenvolvimento no acúmulo de conhecimento tecnológico explorável. O estoque de conhecimento explorável determina a probabilidade de inovar, dada por uma função logística de probabilidades:

$$P_{it}^{Inn} = \frac{P_1}{P_2 + P_3 \cdot \exp(-a_n \cdot \tilde{z}_{it})}, \quad (15)$$

onde P_{it}^{Inn} é a probabilidade da firma i inovar no período corrente, (P_1 , P_2 e P_3) são parâmetros que condicionam a função logística, e a_n , a velocidade com que a probabilidade máxima a inovar é atingida. Tal função possui retornos crescentes para níveis mais baixos de conhecimento e, por meio do acúmulo contínuo de conhecimento em níveis mais elevados, retornos decrescentes no processo de inovação.

A trajetória tecnológica da indústria é dada por um espaço tecnológico através de uma escolha de níveis de produtividade, o que representa o potencial tecnológico. O processo de inovação consiste em retirar aleatoriamente um nível de produtividade de uma distribuição normal com média centrada na produtividade corrente da firma e desvio-padrão igual a σ . O nível de produtividade da nova tecnologia (A_{it}^{Inn}) é condicionado pelo espaço tecnológico. A nova tecnologia é adotada apenas se a firma obtiver maior produtividade do que a tecnologia prevalecente. Então, o nível de produtividade para o período subsequente é dado por:

$$A_{i,t+1} = \max(A_{it}; A_{it}^{Inn}). \quad (16)$$

A pressuposição de que o evento inovativo é centrado em torno do nível de produtividade corrente da firma estabelece o caráter cumulativo da inovação. O resultado da inovação é determinado pelo desempenho passado da tecnologia, o que permite à firma seguir sua própria trajetória tecnológica.

Quanto à segunda categoria (o caso não cumulativo), a capacidade de absorver conhecimento externo depende das atividades de pesquisa e desenvolvimento e das características de transmissão do conhecimento (o parâmetro β , ou seja, a complexidade do conhecimento). O parâmetro β cresce em relação à complexidade do conhecimento,

e decresce em função do grau de codificação do conhecimento aplicado. Quanto maior for β , maior será a dificuldade de absorção do conhecimento. A capacidade de absorção das firmas da categoria não cumulativa (γ_{it}) é descrita pela seguinte equação:

$$\gamma_{it} = 1 - \frac{2\beta}{\sqrt{\bar{R}_{it}}}, \text{ com } 0 < \beta < 1. \quad (17)$$

A estratégia de pesquisa consiste em investir em capacidade de absorção e melhor explorar o conhecimento tecnológico advindo da pesquisa pública e dos efeitos de transbordamento da indústria. A taxa desejada de investimento por unidades de venda é definida numa comparação da capacidade de absorção da firma com um limite denotado por $\bar{\gamma}$:

$$r_{it}^{des} = \begin{cases} r_{i,t-1}^{des} + \lambda(\bar{\gamma} - \gamma_{it}); & \text{se } \gamma_{it} < \bar{\gamma} \\ r_{i,t-1}^{des}; & \text{se } \gamma_{it} > \bar{\gamma} \end{cases}. \quad (18)$$

Essa regra mostra que as firmas do tipo não cumulativo aumentam a taxa desejada de investimento proporcionalmente em relação à escassez de capacidade de absorção. O gasto efetivo em pesquisa e desenvolvimento é limitado entre a parcela desejada da receita em investir e o lucro líquido – como na equação 11 –, e o investimento é determinado pelo nível de pesquisa das firmas não cumulativas, conforme a mesma lógica da equação 12.

A acumulação do conhecimento pelas firmas não cumulativas se dá via absorção do conhecimento externo (*spillovers* e pesquisa pública) e aproveitamento das oportunidades tecnológicas. O efeito de transbordamento do conhecimento depende da parcela de mercado de cada firma. Assim, o nível de pesquisa médio da indústria (\bar{R}_t) é uma ponderação dos níveis de pesquisa individuais pela participação produtiva de cada firma (μ_{it}):

$$\bar{R}_t = \sum_{i=1}^n \mu_{it} \cdot \bar{R}_i, \text{ com } \mu_{it} = Q_{it} / \sum_{i=1}^n Q_{it}. \quad (19)$$

Firmas com elevada participação produtiva geram mais efeitos de transbordamento do que firmas menores. Assim, o nível de transbordamento do conhecimento é dado pela multiplicação entre a taxa de *spillovers* (θ_s) e o nível de pesquisa ponderado pela participação de mercado (\bar{R}_t). O estoque de conhecimento tecnológico explorável da firma i no tempo t é dado por:

$$\tilde{z}_{it} = (1 - \alpha_z) \tilde{z}_{i,t-1} + \gamma_{i,t} (\theta_s \bar{R}_t + R_p), \quad (20)$$

tal que α_z é a taxa de depreciação do conhecimento, e R_p , o nível de pesquisa pública disponível no mercado. O estoque de conhecimento explorável determina a probabilidade de inovar mediante a mesma função logística anteriormente descrita. A diferença é que o processo inovativo das firmas não cumulativas retira um nível aleatório de produtividade de uma função de distribuição normal, a qual está centrada na produtividade média da indústria (\bar{A}_t) com um desvio-padrão característico deste grupo. Portanto, este fato implica que as firmas não cumulativas não seguem a sua própria trajetória tecnológica, mas que buscam o caminho definido pelo padrão industrial. As firmas são ditas não cumulativas, uma vez que não acumulam o conhecimento gerado internamente, mas exploram fundamentalmente fontes externas de conhecimento. Neste caso, o processo inovativo é cumulativo no âmbito industrial, mas não em termos específicos e individuais.¹²

Após a realização dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, as firmas decidem se devem ou não elevar o estoque de capital. Adota-se uma regra simples de comportamento do tipo *satisficing* para a escolha do investimento adicional de capital. O retorno sobre o investimento por unidade de capital é dado por uma taxa de lucro π_{it} , em que ρ denota a taxa mínima esperada do retorno sobre o investimento de capital. Se a taxa de retorno π_{it} for menor do que o mínimo esperado, as firmas não farão nenhum investimento adicional, exceto o investimento necessário à reposição do capital. Caso contrário, se $\pi_{it} \geq \rho$, procurarão investir parte de seus lucros no aumento do estoque de capital. Neste caso, a variação do capital (ΔK_{it}) será estabelecida por um mínimo entre um montante desejado e a capacidade financeira da firma em realizar os investimentos:

$$\Delta K_{it} = \begin{cases} 0; & \text{se } \pi_{it} < \rho \\ \min[\tau \cdot K_{it}; (\Pi_{it} - \delta K_{it} - R_{it})]; & \text{se } \pi_{it} \geq \rho \end{cases}, \quad (21)$$

onde τ é a taxa desejada de crescimento do capital (constante e igual para todas as firmas) e δ , a taxa de depreciação do capital. Dado que não existe financiamento externo, o investimento adicional em capital é limitado pelos lucros residuais, cobrindo

12. Segundo Llerena e Oltra (2002, p.190), "The innovative strategy of these firms is closer to a specific type of technology imitation than to a purely innovative strategy". Este ponto difere do caso agrícola, já que os investimentos na agricultura são realizados no intuito de gerar novos investimentos ou, no caso da imitação, de melhorar a eficiência produtiva regional. Portanto, os investimentos em capacidade de absorção são essenciais ao processo inovativo agroindustrial. Ver Vieira Filho e Silveira (2011).

a depreciação física e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Finalmente, pode-se concluir que a mudança tecnológica é guiada por interações entre os processos de inovação, de difusão, e de aprendizagem.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mudança tecnológica pode ser interpretada por meio de um processo de aprendizado. Nem todo o conhecimento é gerado intramuros. Uma parcela significativa do conhecimento está disponibilizada fora das organizações. Nesse sentido, o investimento tem papel dual de, além de gerar inovações, promover a absorção e internalização dos novos conhecimentos. A capacidade gerencial de decodificar informações do meio ambiente e ampliar a produtividade faz parte da dinâmica competitiva entre as firmas.

Este trabalho se refere à parte 2 da revisão da literatura de modelagem evolucionária, sendo uma continuação da parte 1 (Vieira Filho, 2015), esta concentrada na discussão dos conceitos de competição *schumpeteriana*, de regimes tecnológicos e de difusão dos novos conhecimentos. Este texto procura analisar os principais modelos que tratam de: *i*) trajetórias tecnológicas; *ii*) capacidade de absorção; e de *iii*) processo de aprendizado. Após a leitura das duas partes, fica clara a importância deste referencial teórico para o entendimento da acumulação de capital e do crescimento da produtividade na economia e nas organizações.

Particularmente neste estudo, buscou-se apresentar modelos de dinâmica industrial com enfoque nas questões relativas ao processo de aprendizado. O investimento tem o papel de gerar inovações tecnológicas e de ampliar a capacidade de absorção de conhecimento externo. O progresso técnico pode ser originado no segmento fornecedor. Entretanto, as discontinuidades tecnológicas são promovidas pelas organizações que conseguem assimilar e interpretar os novos conhecimentos, buscando eficiência no uso dos fatores produtivos. As habilidades gerenciais dos receptores são construídas ao longo de um processo de aprendizagem que expande as oportunidades tecnológicas dos fornecedores de insumos modernos. O efeito de ação e reação em cadeia proporciona crescimento em nichos tecnológicos, estabelecendo caminhos e trajetórias bem definidas.

REFERÊNCIAS

- ABRAMOWITZ, M. Resource and output trends in the United States since 1870. **American Economic Association**, v. 46, p. 5-23, 1956.
- ALMEIDA, S. **Dinâmica industrial e cumulatividade tecnológica**. Rio de Janeiro: BNDES, 2004. p. 144.
- ARTHUR, W. B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. **The Economic Journal**. v. 99, n. 394, p. 116-131, Mar. 1989.
- BAPTISTA, M. A. C. **Política industrial: uma interpretação heterodoxa**. Campinas: Unicamp, 2000.
- CHIAROMONTE, F.; DOSI, G. The micro foundations of competitiveness and their macroeconomic implications. *In*: FREEMAN, C.; FORAY, D. (Orgs.). **Technology and the wealth of nations: the dynamics of constructed advantages**. London: Pinter Publishers, 1992. p. 107-134.
- CHIAROMONTE, F.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. Innovative learning and institutions in the process of development: on the microfoundation of growth regimes. *In*: THOMSON, R. (Org.). **Learning and technological change**. United Kingdom: Macmillan Press, 1993. p. 117-149.
- COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of R&D. **The Economic Journal**, v. 99, p. 569-596, Sept. 1989.
- _____. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. **Administrative Science Quarterly**, v. 35, p. 128-152, Mar. 1990.
- DAVID, P. A. Clio and the economics of QUERTY. **The American Economic Review**, v. 75, n. 2, p. 332-337, maio 1985.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, p. 147-162, 1982.
- _____. **Technical change and industrial transformation**. New York: St. Martin's Press, 1984.
- _____. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, v. 26, p. 1120-1171, Sept. 1988.
- EVENSON, R. E., KISLEV, Y. Research and productivity in wheat and maize. **The Journal of Political Economy**, v. 81, n. 6, p. 1309-1329, Nov. 1973.
- FOSTER, A. D. ; ROSENZWEIG, M. R. Learning by doing and learning from others: human capital and technical change in agriculture. **The Journal of Political Economy**, v. 103, n. 6, p. 1176-1209, Dec. 1995.

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

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

LLERENA, P.; OLTRA, V. Diversity of innovative strategy as a source of technological performance. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 13, p. 179-201, 2002.

MALERBA, F. Learning by firms and incremental technical change. **The Economic Journal**, v. 102, n. 413, p. 845-859, July. 1992.

METCALFE, J. Stanley. **Evolutionary economics and creative destruction**. 3th. ed. London: Routledge, 2002. p. 153.

MOWERY, D. C.; ROSENBERG, N. **Trajetórias da inovação: a mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX**. Tradução de Marcelo Knobel. Campinas: Unicamp, 2005. p. 230.

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

OLTRA, V. **Politiques technologiques et dynamique industrielle**. 1997. 374f. Tese (Doctorat ès Sciences Economiques) – Faculte dès Sciences Economiques et de Gestion, Université Louis Pasteur Strasbourg I, Strasbourg, 1997.

SAHAL, D. **Patterns of technological innovation**. New York: Addison-Wesley, 1981a.

_____. The farm tractor and the nature of technological innovation. **Research Policy**, v.10, p. 368-402, 1981b.

_____. Technological guideposts and innovation avenues. **Research Policy**, v. 14, p. 61-82, 1985.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo y democracia**. Buenos Aires: Claridad, 1946.

_____. The creative response in economic history. **The Journal of Economic History**, v. 7, n. 2, p. 149-159, Nov. 1947.

SILVERBERG, G.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. Innovation, diversity and diffusion: a self-organisation model. **The Economic Journal**, v. 98, p. 1032-1054, Dec. 1988.

SOLOW, R. M. A contribution to the theory of economic growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65-94, Feb. 1956.

_____. Technical change and the aggregate production function. **Review of Economics and Statistics**, v. 39, p. 312-320, 1957.

STOKES, D. E. **O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica**. Tradução de José Emílio Maiorino. Campinas: Unicamp, 2005. p. 246.

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

TEECE, D. J. Economies of scope and the scope of the enterprise. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 1, p. 223-247, Mar. 1980.

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

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

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Modelagem evolucionária da dinâmica industrial (parte 1): concorrência, regimes tecnológicos e difusão de conhecimento**. Brasília: Ipea, 2015. (Texto para Discussão). No prelo.

WINTER, S. G. Schumpeterian competition in alternative technological regimes. **Journal of Economic Behavior and Organization**, v. 5, p. 287-320, June. 1984.

EDITORIAL

Coordenação

Cláudio Passos de Oliveira

Supervisão

Everson da Silva Moura

Reginaldo da Silva Domingos

Revisão

Ângela Pereira da Silva de Oliveira

Clícia Silveira Rodrigues

Idalina Barbara de Castro

Leonardo Moreira Vallejo

Marcelo Araujo de Sales Aguiar

Marco Aurélio Dias Pires

Olavo Mesquita de Carvalho

Regina Marta de Aguiar

Erika Adami Santos Peixoto (estagiária)

Laryssa Vitória Santana (estagiária)

Pedro Henrique Ximendes Aragão (estagiário)

Thayles Moura dos Santos (estagiária)

Editoração

Bernar José Vieira

Cristiano Ferreira de Araújo

Daniella Silva Nogueira

Danilo Leite de Macedo Tavares

Jeovah Herculano Szervinsk Junior

Leonardo Hideki Higa

Capa

Luís Cláudio Cardoso da Silva

Projeto Gráfico

Renato Rodrigues Bueno

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

Livraria Ipea

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

70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 2026-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.



ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Ministério do
Planejamento, Orçamento
e Gestão

