

O processo de inovação tecnológica de uma perspectiva *agent-based*

Carolina Marchiori Bezerra

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

BEZERRA, CM. *Inovações tecnológicas e a complexidade do sistema econômico* [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. 122 p. ISBN 978-85-7983-089-1. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this chapter, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste capítulo, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de este capítulo, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

3

O PROCESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA PERSPECTIVA *AGENT-BASED*

É possível discutir o processo de inovação e mudança tecnológicas a partir da utilização da ferramenta da modelagem baseada no agente (ABM ou ACE), a qual é capaz de lidar com questões bastante complexas por meio de simulações computacionais. Tais discussões têm encontrado significativo espaço e grandes vantagens quando analisadas nesse contexto teórico.

Ao lidarem com simulações computacionais, os modelos ACE são capazes de relacionar as estratégias de inovação com a estrutura de mercado e com outras variáveis como a produtividade, o número de firmas e o crescimento econômico. Grande parte desses trabalhos sobre inovação tecnológica que utilizaram a modelagem ACE foi desenvolvida com base na linha de pesquisa da economia evolucionária iniciada por Nelson & Winter ([1982]/2005), abordagem esta que é capaz de lidar com simulações computacionais como uma útil ferramenta de análise dos processos dinâmicos e, por isso, tem sido fundamental para os trabalhos ACE sobre inovação (Dawid, 2006).

Antes de partir mais detalhadamente para essa relação e influência do modelo desenvolvido por Nelson & Winter ([1982]/2005) para o método ABM, torna-se importante destacar

algumas características do processo de inovação tecnológica que justificam essa análise, bem como a utilização dessas ferramentas.

Nos modelos da teoria evolucionária da mudança econômica e em modelos de economia artificial, o sistema está em constante processo de evolução e desenvolvimento, o que lhe impossibilita atingir um equilíbrio ou um estado próximo disso. Pois, mesmo nesses modelos, a velocidade com que uma inovação é adotada é maior do que a velocidade da adaptação. Por meio deles, estudam-se as propriedades transitórias do sistema, ou os desequilíbrios, uma vez que tais eventos implicam que os parâmetros estão sempre se alterando.

A novidade gerada nos processos evolucionistas carrega características do passado, mas também contém aspectos puramente imprevisíveis ou aleatórios. É essa segunda característica que, segundo Dosi & Winter (2003), dificulta a modelagem do fenômeno de inovação, pois implica uma explosão no número de dimensões do espaço explorado pelo sistema. Diante dessa dificuldade,

uma estratégia de modelização possível consiste então em projetar um hipotético espaço de busca multidimensional sem especificar completamente a “lei de movimento” desse espaço, exceto localmente. (Dosi & Winter, 2003, p.393)

Em construções como essa, ou seja, que exibem novidade persistente, o sistema não tenderá a um equilíbrio, mas, por outro lado, em tais dinâmicas abertas

podem-se encontrar regularidades relativas a processos que se apoiam, eles próprios, em propriedades emergentes, estruturas metaestáveis, padrões temporais de eventos (do tipo “pontuação” de quase-equilíbrios e grandes descontinidades estruturais) ou ainda propriedades dinâmicas médias (tais como a taxa de crescimento de certas variáveis). (Dosi & Winter, 2003, p.393)

Ainda segundo Dosi & Winter, a simulação, seguida pelas economias artificiais e também por alguns modelos que se apoiam nas teorias evolucionárias da mudança econômica,

oferece a oportunidade de explorar de modo experimental e quantitativo o comportamento de convergência do modelo, sempre recorrendo às evidências brutas ou à intuição para atribuir valores aos parâmetros. (2003, p.394)

Para Dawid (2006), a abordagem ACE fornece uma melhor compreensão do processo de mudança tecnológica e é capaz de incorporar os aspectos e as características das inovações em seus modelos. Dois argumentos justificam a utilização dessa abordagem no tratamento das inovações tecnológicas: 1) a sua maior capacidade em lidar e incorporar em seus modelos as propriedades genuínas do processo de inovação e mudança tecnológica, e 2) a incapacidade dos modelos neoclássicos de equilíbrio padrão de fornecer explicações aos fatos empiricamente estilizados. Esses dois argumentos são apresentados com mais detalhes nas seções seguintes.

Propriedades do processo de inovação

Dawid (2006) aponta para a existência de quatro propriedades genuínas que caracterizam o processo de inovação e mudança tecnológica: i) estrutura dinâmica do processo; ii) natureza especial do conhecimento; iii) incerteza substantiva forte envolvida; e iv) a importância da heterogeneidade.

Segundo o referido autor, o processo de inovação não gera efeitos apenas sobre a produtividade da indústria, mas também sobre a maneira com que o mercado e a estrutura da indústria se desenvolvem ao longo do tempo, motivo pelo qual os aspectos dinâmicos do processo devem ser levados em conta. Considera-se

que as estruturas industriais não estão delineadas como propõe a abordagem padrão, mas, por outro lado, elas estão em contínuo desenvolvimento e tal dinâmica é o resultado dos comportamentos diferenciados das firmas, as quais apresentam características bastante específicas e particulares.

Dawid (2006) chama a atenção para a estrutura de tempo existente na trilogia invenção-inovação-difusão de novas tecnologias da obra de Schumpeter. E disso segue que a maneira com que esses processos tomam forma está intimamente relacionada com a dinâmica industrial e com as estruturas de mercado.

Outra característica da inovação diz respeito à natureza especial do conhecimento. Essa característica se apoia na ideia de que o sucesso de uma inovação depende tanto dos investimentos correntes como da estrutura de conhecimento acumulado pela firma ao longo do tempo. Ora, este não é uniforme, uma vez que pode apresentar diversas estruturas, isto é, ele pode ser público ou privado, explícito ou tácito e, ainda, geral ou específico. Nesse sentido, é possível afirmar que as ações correntes e o sucesso das inovações dependem em grande medida das experiências passadas ou do conhecimento acumulado ao longo do tempo, de modo que as ações futuras também serão, em grande medida, influenciadas pelas experiências passadas.

Seguindo a avaliação feita no segundo capítulo, para entender o contexto de inovações tecnológicas dentro da teoria dos sistemas complexos torna-se importante estudar os conceitos de retornos crescentes, *lock-in* e *path dependence*, que foram abordados por autores como Arthur (1989) e David (1985). Essas expressões foram usadas para argumentar que a história importa, e isso porque a existência de determinadas tecnologias deve ser explicada pela história de sua criação, adoção e desenvolvimento.

A realização das atividades tecnológicas de forma contínua e repetitiva gera acúmulo de conhecimentos, de habilidades e aumenta a experiência das empresas ao longo do tempo, o que eleva a sua capacidade de explorar novas oportunidades em direções específicas e amplia o incentivo para fazê-lo também no futuro. Os

inventores são, portanto, direcionados às tecnologias que já apresentam grandes avanços acumulados, isto é, eles serão direcionados às tecnologias mais bem desenvolvidas.¹

Esse fenômeno trata do conceito de *path dependence*, segundo o qual as escolhas econômicas são, em grande medida, condicionadas pelas escolhas feitas anteriormente. Diante disso, as tecnologias se tornam dominantes em função dos retornos crescentes dinâmicos de escala acumulados.

O estudo dos processos de acumulação de conhecimento dentro da empresa é bastante diferente do estudo dos processos de acumulação de capital físico devido sobretudo ao seu caráter tácito e específico, o que permite que a informação seja apenas parcialmente comercializada no mercado. Diante disso, apenas parte do conhecimento desenvolvido internamente será difundido. Entretanto, caso o conhecimento seja compartilhado entre vários agentes econômicos, ocorrerão retornos crescentes dinâmicos e *lock in*.

De forma geral, verifica-se que parte do conhecimento que está embutido nos indivíduos, ou em um grupo de indivíduos, pode fluir em direção a canais locais e globais de difusão, de tal sorte que o estudo desses fluxos de conhecimento conduz a “discussões de interação local e formação de rede de comunicação” (Dawid, 2006, p.1238). Consequentemente, redes de desenvolvimentos se formam em torno da melhor tecnologia, criando as condições necessárias para o seu melhor aproveitamento.

Dentre os mecanismos de acumulação de conhecimento destacam-se: *in-house* P&D, que é o mecanismo informal de transferência de conhecimento entre as companhias (*spillovers*), e o *learning by doing* (Dawid, 2006).

Outro importante evento a ser destacado é que os diferentes processos de inovação geram externalidades tecnológicas para outras firmas ou setores. Desse modo, as experiências, qualificações, capacidades e memórias acumuladas em determinadas empresas

1. Vale notar que, nas tecnologias menos desenvolvidas, grandes avanços ainda precisam ser alcançados para que se tornem competitivas.

ou setores acabam transbordando de uma atividade para outra. Elas são, portanto, internalizadas nas atividades das firmas e acabam gerando melhoras de desempenho nessas empresas e na economia como um todo.

No entanto, tal forma de inter-relacionamento também pode conduzir a fenômenos de histerese, na medida em que conduz a uma inércia ou a um aprisionamento no conhecimento de velhas competências, restringindo a busca pela aquisição de novas capacidades. E isso ajuda a entender por que empresas ou países ficam presos (*locked in*)² a determinadas tecnologias.

Segundo Dosi (1988b, p.1148),

Tais formas de retornos crescentes dinâmicos específicas à tecnologia tendem a “aprisionar” o processo de mudança tecnológica em trajetórias particulares, impondo um reforço mútuo (um *feedback* positivo) entre um certo padrão de aprendizado e o padrão de alocação de recursos em atividades inovativas nas quais o aprendizado já ocorreu no passado.

A geração de externalidades positivas ou de externalidades de rede acaba afetando o comportamento dos mercados, pois os fatores que conduzem a retornos crescentes estão geralmente entrelaçados ao processo envolvido no desenvolvimento de tecnologias cumulativas.

-
2. O formato de teclado QWERTY, inventado para evitar o emaranhamento das teclas das máquinas de escrever é um exemplo de um padrão ineficiente que persistiu ao longo do tempo e tornou-se modelo padrão principalmente devido à familiaridade dos datilógrafos experientes e também à existência de programas de treinamento de digitação desse método. A manutenção desse tipo de padrão de teclado nos computadores, mesmo sem o problema do emaranhamento das hastes, está relacionada a um processo *path dependent*, o qual, por sua vez, decorre principalmente do fato de esse padrão de teclado ter sido inventado primeiro, já que o seu sucesso não teria qualquer relação com a sua eficiência. E a persistência desse padrão em detrimento de outros formatos alternativos que podem ter se mostrado melhores (Dvorak) está relacionada ao conceito de *lock in*, isto é, ao aprisionamento à tecnologia devido a sua maior difusão no mercado.

E é essa natureza cumulativa do conhecimento, que é, em parte, difundida no mercado, o fator que permite às firmas antecipar mudanças que ocorrem no ambiente, e o que explica em parte o caráter relativamente ordenado dos padrões observados de mudança tecnológica.

Dawid (2006) destaca que diversos estudos empíricos apontam para a relevância dos *spillovers* tecnológicos, que representam um fluxo de conhecimento entre firmas ou indivíduos dependendo principalmente dos próprios esforços de P&D dentro das firmas. Todavia, o autor destaca que os estudos que utilizam a estrutura de Nelson & Winter ([1982]/2005) como referência não consideram a acumulação dinâmica de uma base de conhecimento estruturado por parte das firmas que competem no mercado. Nessa estrutura, por outro lado,

A acumulação de conhecimento é tratada assumindo que todo o conhecimento corrente usado está incorporado na tecnologia corrente usada, ou ainda pela consideração de uma variável estoque de P&D que é elevada por investimentos ao longo do tempo. [...] A utilização de simulações *agent-based* permite ao modelador adicionar algumas estruturas empiricamente relevantes ao modelo padrão de acumulação de conhecimento e *spillovers*. (Dawid, 2006, p.1249)

Dentre os estudos desenvolvidos³ pela abordagem *agent-based* acerca da acumulação de conhecimento e *spillovers* estão o de Cantner & Pyka (1998), o de Ballot & Taymaz (1997) e o de Gilbert et al. (2001). No modelo desenvolvido por Cantner & Pyka (1998), a probabilidade de uma inovação ser bem-sucedida depende tanto do estoque de capital em P&D quanto do tamanho do *spillover*, o

3. Vale observar que não é objetivo deste livro discutir de maneira detalhada os modelos que trataram as propriedades genuínas dos processos de inovação de uma perspectiva *agent-based*, mas apenas apresentar aspectos gerais a que chegaram esses modelos, os quais foram apresentados de maneira mais detalhada em Dawid (2006).

qual, por sua vez, dependerá da capacidade de absorção da firma, da qualidade do produto e da posição relativa da firma na indústria. Nesse modelo, os autores concluem que as firmas que interagem com as demais e acumulam capacidade absorviva são mais rentáveis do que aquelas que levam em conta apenas o seu próprio estoque de P&D.

O modelo de simulação desenvolvido por Ballot & Taymaz (1997) apresenta uma conclusão similar ao modelo anterior. As firmas nesse modelo constroem estoques de habilidades específicas e, diante disso, aumentam seu estoque de conhecimento, elevando a probabilidade de inovações radicais bem-sucedidas. O modelo aponta para a existência de uma relação estatística positiva entre o investimento da firma em conhecimento geral e a taxa de lucro, o que leva Ballot & Taymaz a enfatizar a importância de os investimentos em P&D serem precedidos pela construção de um conhecimento geral.

E, por fim, no modelo de simulação desenvolvido por Gilbert et al. (2000, 2001), esses autores buscaram desenvolver uma forma de modelar o conhecimento e as capacidades com mais detalhe. Diante de tal proposta, procuraram estudar não apenas o aumento em um montante de conhecimento, mas também a identificação dos diferentes padrões de acumulação de conhecimento existentes.

Voltando à discussão sobre as propriedades do processo de inovação, a terceira, que envolve a incerteza substantiva forte, leva em consideração o fato de que em ambientes baseados em tais condições não é possível prever as invenções que serão feitas nem antecipar os resultados da implementação de certa inovação, já que o agente não conhece todos os resultados possíveis de um projeto de inovação, em função de sua capacidade computacional e cognitiva ser limitada, fato que o torna incapaz de encontrar uma solução ótima num problema de escolha.

Tal qual foi destacado anteriormente, na abordagem *agent-based*, as firmas são guiadas por diferentes estratégias de busca por inovações, isto é, elas estão continuamente empenhadas em uma busca *open-ended* por novos objetivos, ou meios em mudança. Em

função disso, pode-se afirmar que essas estratégias são apenas *rule based*, e não derivadas como uma solução de um problema de otimização (Dawid, 2006).

Vale lembrar que, na abordagem neoclássica, os gastos em P&D são tratados a partir de uma ótica que visa encontrar uma estratégia de busca ótima, que reduza os custos, melhore a qualidade e diferencie o produto. Tal contexto se dá num ambiente em que os agentes possuem conhecimento perfeito de todos os eventos possíveis e são capazes de avaliar a incerteza probabilisticamente, bem como prever os resultados futuros e incertos. Portanto, os agentes não cometem erros sistemáticos na realização das suas escolhas.

Para a abordagem baseada no agente, por outro lado, as firmas não têm acesso livre a um número irrestrito de atividades produtivas, nem todos os processos estão sob o seu controle. Além disso, em um ambiente de incerteza e limitação das capacidades cognitivas e computacionais dos agentes, e diante dos altos custos econômicos de coleta e processamento de informações, haverá ausência de conhecimento pleno sobre as possibilidades de decisão, bem como as consequências das escolhas serão desconhecidas, uma vez que também dependerão das ações e decisões tomadas pelos demais agentes que compõem o sistema. Assim, qualquer tentativa de antecipação de certos eventos é tida como imperfeita, uma vez que os agentes decidem de forma autônoma e suas decisões são interdependentes.

A abordagem baseada no agente estuda em detalhe o processo de busca por inovações e a interação desses processos de busca com a dinâmica da indústria e a evolução das preferências do consumidor. Dawid (2006) destaca o desenvolvimento de alguns estudos nessa área.

Nesse sentido, destaca-se o modelo desenvolvido por Cooper (2000), no qual o autor considera que as firmas executam P&D com o objetivo de solucionar problemas que são, em sua maioria, mal ilustrados e difíceis de resolver. De acordo com esse modelo, o aprendizado social acelera o processo de descoberta pelos melhores desenhos, e, diante de um ambiente de imitação parcial, as firmas

combinam o desenho de diversas firmas na média, o que conduz a um aprendizado mais rápido se comparado a situações em que a firma simplesmente adota um desenho de outra firma, porque, diante de imitação parcial, a firma acaba por evitar a adoção de desenhos subótimos. Esses novos desenhos são comparados aos desenhos existentes, e a sua avaliação de sucesso ou fracasso apenas será feita quando esse desenho for colocado no mercado.

A heterogeneidade de comportamento e a existência de conhecimento imperfeito⁴ dos agentes é outra propriedade bastante importante que deve ser levada em consideração quando se pretende estudar os processos e efeitos da atividade inovativa.

Ambientes que exibem inovação são marcados por diversidade comportamental e instabilidade estrutural, e, portanto, não são compatíveis com o simples cálculo de otimização dos modelos ortodoxos tradicionais, os quais desconsideram a existência de incerteza e heterogeneidade⁵ entre os agentes, e, também, as diferenças de julgamento e percepção entre esses, uma vez que os agentes envolvidos são dotados de conhecimento perfeito de todas as propriedades. Assim sendo, pode-se afirmar que o modelo de agente representativo bayesiano, ao admitir racionalidade perfeita e conhecimento *ex ante* de todos os estados possíveis, não é capaz de lidar com a discussão de incerteza e heterogeneidade presentes em ambientes que exibem inovação.

Ao propor algo oposto a essa perspectiva tradicional, deve-se partir da premissa de que as firmas procuram diferenciar suas técnicas de produção ou seus produtos dos seus competidores no mercado, gerando com isso heterogeneidade em todo o sistema. Partindo dessa condição, tem-se que o entendimento das estratégias e tecnologias adotadas pelas firmas são pontos fulcrais para a

4. Os autores evolucionários admitem um padrão de racionalidade que segue a abordagem de Simon.

5. A heterogeneidade de comportamento na análise neoclássica se resume simplesmente à heterogeneidade nas características dos agentes ou na dotação inicial.

compreensão dos processos que governam a mudança tecnológica. A abordagem baseada no agente, ao lidar com complexidade e incerteza substantiva, torna-se, então, a forma mais adequada para lidar com a heterogeneidade de estratégias de inovação.

A existência de heterogeneidades permite a geração de novo conhecimento, o que se reflete em efeitos bastante positivos na indústria, pois as firmas procurarão se distinguir dos seus competidores por meio da implantação de novas atividades inovativas a fim de auferir resultados melhores (Dawid, 2006). Desse modo, a heterogeneidade das estratégias não pode apenas ser atribuída a diferenças de dotação, como sugere a abordagem tradicional. Além disso, elas não são induzidas apenas pelos efeitos que geram sobre os incentivos individuais das firmas, mas também porque geram efeitos importantes e significativos na evolução da indústria como um todo.

Dentre os modelos desenvolvidos a partir dessa perspectiva estão o de Dawid et al. (2001), que estudaram as diferentes circunstâncias em que as firmas se dedicam à imitação de modelos já existentes, em circunstâncias sob as quais elas desenvolvem os seus próprios projetos de inovação. O modelo desenvolvido pelos autores conclui que é mais vantajoso para a firma se desviar da estratégia da indústria média, e que as firmas têm incentivos para se desviar, gerando estratégia de heterogeneidade (Dawid, 2006, p.1255).

Outro modelo que considera a diversidade de estratégia na indústria é o de Llerena & Oltra (2002), segundo o qual a probabilidade de inovação das firmas depende do estoque de conhecimento acumulado e não apenas do nível de investimento corrente. Além disso, o modelo pressupõe a existência de dois tipos de firmas: aquelas que constroem o seu estoque de conhecimento a partir do seu próprio P&D e, portanto, geram inovações internamente, e aquelas que, por outro lado, investem na construção de capacidade absorptiva a fim de explorar o conhecimento gerado externamente. Enquanto as primeiras são caracterizadas como firmas inovadoras, as últimas são vistas como firmas imitadoras.

O modelo mostra que, em indústrias homogêneas em que a inovação e a imitação coexistem, um padrão de evolução tecnológica superior ou de maior produtividade média será observado. Em indústrias heterogêneas, por outro lado, coexistem um número pequeno de grandes empresas inovadoras e muitas pequenas firmas imitadoras (Dawid, 2006, p.1256).

Outro modelo importante desenvolvido nessa perspectiva *agent-based* de mudança tecnológica é o de Chiaromonte & Dosi (1993), no qual os autores compararam resultados de simulação em cenários em que as competências tecnológicas e as regras de decisão são heterogêneas, e em cenários em que esses parâmetros são homogêneos. As conclusões e resultados do modelo indicam que cenários em que a tecnologia e as regras de decisão são homogêneas conduzem a um progresso técnico e a uma renda agregada menor do que quando comparada a cenários em que esses parâmetros são heterogêneos (apud Dawid, 2006). Ballot & Taymaz (1997, 1999) também adotam uma perspectiva evolucionária, e de maneira similar verificam que, na ausência de heterogeneidade das estratégias, o produto total e o nível de tecnologia alcançado são reduzidos. Além disso, mostram que baixos níveis de produtividade são gerados em situações em que as estratégias são dadas *ex ante*, e nas quais as firmas são incapazes de adaptar suas estratégias.

Feitas essas considerações acerca da capacidade dos modelos ACE de incorporar importantes aspectos do processo de inovação tecnológica em sua análise, a seção que segue tem por objetivo analisar a importância dessa abordagem no que diz respeito ao seu maior poder explicativo, o que está diretamente relacionado à sua maior capacidade de fornecer explicações aos fatos empiricamente estilizados.⁶

6. Os fatos estilizados dizem respeito aos fatos recorrentes. Correspondem às características agregadas dos fenômenos.

A emergência dos fatos estilizados

Os fatos estilizados, entendidos como características agregadas, emergem como propriedades agregadas, ou seja, emergem como um resultado das hipóteses sobre as interações econômicas no nível micro, isto é, a partir das hipóteses feitas a respeito da forma como os agentes interagem. Segundo Dawid (2006), os modelos ACE desenvolvidos nessa perspectiva têm sido bem-sucedidos em reproduzir fatos estilizados tanto de uma perspectiva da indústria como da perspectiva do crescimento econômico.⁷

Mais especificamente, no que se refere à perspectiva da indústria, as empresas que são heterogêneas podem apresentar diversas características que são particulares a elas. Entre outros fatores, elas podem diferir quanto à tecnologia empregada, quanto à produtividade, quanto ao lucro, etc. Disso segue que os padrões de evolução podem variar em diversos aspectos de indústria para indústria, mas, apesar disso, é possível identificar certas similaridades ou regularidades entre esses padrões, ou seja, é possível identificar características que são comuns a um grande número de firmas.

Esses padrões podem ser reproduzidos utilizando-se modelos ACE, modelos esses que são capazes de incorporar muitas características de interação e comportamento no nível micro. Neles, os padrões macro regulares emergem da interação micro não coordenada e descentralizada.

Na perspectiva de evolução da indústria, dentre os modelos ACE que têm sido bem-sucedidos em reproduzir os fatos estilizados são apresentados tanto modelos que seguem a tradição evolucionária, como uma nova geração de modelos econômicos evolucionários que ficou conhecida como modelos *history friendly* (Dawid, 2006).

7. Estudos nessa linha de pesquisa foram publicados por autores como Silverberg & Verspagen (1994, 1995, 1996), Chiaromonte & Dosi (1993), Chiaromonte et al. (1993), Dosi et al. (1994) e Fagiolo & Dosi (2003).

Dentre os modelos do primeiro grupo estão os desenvolvidos por Dosi et al. (1995) e Winter et al. (2000, 2003). Neles, os autores procuraram reproduzir os fatos estilizados no que diz respeito à distribuição do tamanho da firma em muitas indústrias, à coexistência de firmas com diferentes eficiências na produção, às vantagens de longo prazo dos entrantes antigos, e à importância na indústria do regime tecnológico para as características de evolução da indústria (apud Dawid, 2006, p.1260).

Apesar da sua grande importância, para Dawid (2006, p.1260), esses modelos são apenas em algum sentido *agent-based*, uma vez que seu foco está na análise da evolução das distribuições no nível da indústria e nas interações entre os agentes, sendo que as regras de interação entre os agentes são apenas consideradas em forma reduzida.

O uso da matemática e a crescente formalização incorporada aos modelos evolucionários com o objetivo de discutir as inovações foram bastante importantes para colocar as discussões dessa linha de pesquisa no *mainstream* do debate acerca da inovação. No entanto, esse formalismo também desempenha um papel bastante restritivo, na medida em que passa a ser mais valorizado do que “a riqueza empírica, o poder explicativo, a robustez conceitual, o poder da política ou mesmo a capacidade preditiva” (Hodgson, 1999, p.146).

Segundo Dawid (2006), esses modelos são formulados em uma estrutura bastante abstrata, na qual o modelador tem liberdade para adaptar as hipóteses e gerar certos fatos estilizados, consequentemente,

esses modelos (de maneira similar à teoria econômica formal tradicional) destacam quais mecanismos são explicações potenciais para o fenômeno observado [...] Argumenta que [...] a fim de ser mais confiável na captura das causalidades vigentes em dadas indústrias concretas, deveria ser necessário ligar os blocos de construção do modelo com as observações empíricas nessa dada indústria. (Dawid, 2006, p.1260)

Nesse sentido, outra geração de modelos econômicos evolucionários propostos por Malerba et al.⁸ (1999, 2001), que ficou conhecida como *history friendly*, tem sido estudada. Modelos *history friendly* são modelos formais que buscam capturar de forma estilizada a essência das teorias qualitativas e apreciativas sobre os mecanismos e fatores que afetam a evolução da indústria. O modelo busca, a partir de uma estrutura formalizada, explicar os padrões de evolução de uma indústria ou da tecnologia que são colocados pelos pesquisadores empíricos dessa indústria.

Tais modelos

devem ser desenvolvidos baseados em considerações detalhadas acerca das características da indústria. [...] Além disso, devem ser capazes de reproduzir os principais fatos no desenvolvimento histórico da indústria. A ideia é iniciar com descrições verbais da estrutura presente de uma indústria e então traduzir os argumentos verbais em um modelo formal. (Dawid, 2006, p.1260)

Malerba et al. (2001) argumentam que esses modelos tendem a incorporar detalhes mais específicos da indústria do que os modelos da economia tradicional. E como tais explicações verbais para os padrões particulares envolvem uma dinâmica não linear, dada a sua complexidade, o modelo resultante tem a estrutura de um modelo de simulação dinâmico *agent-based*.

Apesar dos significativos avanços verificados, Dosi & Winter (2003) destacam a dificuldade ou até mesmo a impossibilidade de incorporar “novidade genuína”⁹ nos modelos evolucionários, pois, caso pudesse ser incorporada no modelo, seria apresentada como rotina e não como criatividade. Nesse sentido, os modelos de inovação baseados em complexidade são apenas capazes de destacar

8. Malerba et al. (1999, 2001) desenvolveram um modelo desse tipo para a indústria de computadores e as especificações do modelo foram escolhidas com base nas observações empíricas da indústria em questão.

9. A novidade só é considerada genuína quando ela não é causada por um evento anterior (*uncaused cause*).

que a existência de novidades gera variedade e a partir desses modelos pode-se mostrar que essa variedade endogenamente gerada pela inovação gera padrões de dinâmica industrial. Assim, conclui-se que, embora a criatividade genuína não possa ser incorporada no modelo, a teoria da complexidade pode mostrar que, presumindo que a inovação existe e é endógena, a criação de variedade leva a padrões e mudanças de padrão na dinâmica industrial.

De maneira geral, verifica-se que a abordagem de simulação baseada no agente apresenta-se como uma importante ferramenta de análise quando utilizada em discussões relacionadas à inovação e mudança tecnológica. Sua superioridade pode ser explicada pela sua maior capacidade de incorporar as quatro propriedades do processo de inovação aos seus modelos, o que lhe confere um maior poder explicativo frente à abordagem neoclássica tradicional, pois, ao desconsiderar a possibilidade de conhecimento *ex ante* sobre os resultados futuros, é capaz de lidar com a incerteza substantiva forte e com heterogeneidades das estratégias.

A importância desses modelos também é associada a sua grande capacidade em fornecer explicações aos padrões agregados observados, os quais emergem como propriedade das hipóteses sobre as interações no nível micro. Assim, por exemplo, tal modelo é capaz de relacionar as estruturas de mercado com as diferentes variáveis indicativas de desempenho da indústria e verificar, desse modo, como um fato estilizado, no caso uma dada estrutura de mercado, emerge a partir das interações econômicas no nível micro. De outro modo, como as diferentes estruturas de mercado observadas podem ser relacionadas, dentre outros fatores, às diferentes estratégias de inovação empreendidas pelas firmas, ao próprio estágio de desenvolvimento da indústria, à produtividade da firma, ao número de firmas do setor, ao crescimento econômico, etc.?

E a capacidade desses modelos em reproduzir comportamentos agregados, sob dadas condições econômicas, são importantes em situações em que tais modelos são utilizados para realizar previsões ou avaliações acerca dos efeitos da implementação de políticas.

Assim, essa seção teve por objetivo justificar a importância e maior eficácia de se pensar as inovações tecnológicas em uma perspectiva *agent based*. Foi destacado que grande parte dos modelos desenvolvidos a partir dessa perspectiva baseia-se no modelo de inovação tecnológica proposto por Nelson & Winter ([1982]/2005). Diante da sua grande importância e influência, torna-se importante realizar um estudo mais detalhado desse modelo.

O modelo de concorrência schumpeteriana

O progresso técnico na abordagem evolucionária de Nelson & Winter ([1982]/2005) é visto como um instrumento de competição, apresentando-se como uma das principais fontes de crescimento e mudança estrutural na economia.

Os autores desenvolveram um modelo de concorrência schumpeteriana e evolução industrial que tem grande importância teórica, dado que apresenta uma das principais contribuições no sentido de apresentar uma modelagem da concorrência com mudança técnica endógena sob pressupostos de desequilíbrio e racionalidade limitada. Apesar de apresentar algumas limitações, tal modelo forneceu conclusões importantes acerca da relação entre estrutura de mercado e processo de mudança tecnológica, bem como serviu de base para diversos modelos de dinâmica industrial¹⁰ desenvolvidos posteriormente.¹¹

10. Segundo Windrum (2004), três elementos-chave do modelo de Nelson & Winter ([1982]/2005) são seguidos pelos demais modelos neo-schumpeterianos: i) heterogeneidade de estratégias entre as firmas, ii) mecanismos de seleção de mercado, e iii) os mecanismos de geração de novidade que podem se dar por busca local ou por imitação.

11. Dentre esses, vale citar uma própria extensão do modelo, desenvolvida por Winter (1984), que buscou explorar novas fontes de mudança técnica e que também introduziu algumas alterações. Além desse, Silverberg et al. (1988), Chiaromonte & Dosi (1993), Caccamo (1996) e Possas et al. (2001) partem da estrutura sugerida inicialmente por Nelson & Winter ([1982]/2005) e

A questão da estrutura de mercado tem grande importância para o desenvolvimento dessa teoria schumpeteriana, que considera o tamanho da firma e o grau de concorrência importantes para a tomada de decisões econômicas de um inovador, o que se explica a partir do argumento de que

As grandes firmas têm níveis de produção, capacidade produtiva, arranjos de comercialização e finanças que lhes permitem explorar rapidamente uma nova tecnologia numa escala relativamente grande. [...] Além do que [...] a ausência de concorrentes e a habilidade de bloquear a imitação dos concorrentes são fatores que por si só influenciam a apropriabilidade.¹² Dito de outro modo, a estrutura de mercado influencia a velocidade com que as quase-rendas provisórias são erodidas pelos imitadores. Essa relação é presumivelmente o que Schumpeter tinha em mente quando declarou que a concorrência perfeita era incompatível com a inovação. (Nelson & Winter, [1982]/2005, p.405-6).

Os ambientes que exibem inovação são ambientes marcados por incerteza tanto para os agentes envolvidos como para aqueles que são afetados pelas inovações dos primeiros. Todavia, alguns aspectos, especificamente o tamanho da empresa, entre outros, podem contribuir para aplinar tais “problemas”, ou seja, podem contribuir para reduzir o grau de incerteza dos inovadores. Assim, quanto maior o poder de mercado, ou quanto maior o grau de monopólio de uma firma, maior é a possibilidade de esta obter uma elevada taxa de retorno, dado que menores são as incertezas ocasionadas pela concorrência.

buscam igualmente introduzir mudanças, a fim de remover as simplificações existentes (Almeida, 2004).

12. Vale notar, no entanto, que, apesar da importância dada a esse fator, o modelo desenvolvido por Nelson & Winter ([1982]/2005) não foi capaz de modelar a apropriabilidade.

Além do mais, o poder de mercado somado à habilidade das firmas de bloquear a imitação influencia a apropriabilidade, o que implica um importante fator de influência sobre as políticas de inovação.

Como já foi visto anteriormente, para Nelson & Winter ([1982]/2005), a concorrência de mercado em determinado setor constitui um ambiente de seleção. Destacam que tal discussão já estava presente nos escritos de Schumpeter. Nesse sistema, as firmas são motivadas a introduzir novos métodos de produção ou novos produtos, a fim de se manter e elevar sua participação no mercado. O resultado disso será expansão de lucro das inovadoras, que vislumbrarão aumentos nos níveis de produtividade e redução dos custos unitários de produção, ou ainda maiores parcelas de mercado. Por outro lado, haverá contração das não inovadoras, que serão estimuladas a imitar as estratégias das primeiras, a fim de melhorar a sua rentabilidade e competitividade no mercado.

Já em ambientes que apresentam pouca concorrência, as firmas alcançam altos retornos em suas atividades, o que incentiva pouco a realização de investimentos em P&D inovativo. Assim, caso a participação de mercado dessa firma já seja bastante grande e haja poucas possibilidades de expansão, a firma terá poucos incentivos para continuar expandindo seus investimentos em P&D inovativo, dada a fraca pressão de seus concorrentes e a ausência do risco de ser expulsa desse mercado.

Diante disso, maior deverá ser a razão preço-custo necessária para induzir a expansão dos investimentos. Por outro lado, em ambientes marcados por forte concorrência e, portanto, grande facilidade de imitação ou baixas condições de apropriabilidade, as firmas se apropriam facilmente dos investimentos realizados pelas inovadoras e, nessa busca por um “rápido segundo lugar”, elas expulsariam do negócio as verdadeiras inovadoras, podendo dominar o ramo (Nelson & Winter, [1982]/2005, p.407).

O contexto descrito permite estabelecer a existência de uma relação de causalidade entre a estrutura de mercado e a inovação, de

tal forma que a estrutura de mercado gera reflexo sobre a inovação, mas esta também é capaz de alterar a estrutura de mercado. O modelo de crescimento desenvolvido por Nelson & Winter ([1982]/2005) procura reproduzir os aspectos essenciais da concorrência schumpeteriana, a partir da identificação das relações ou conexões existentes entre as estruturas de mercado, os dispêndios em P&D, o avanço técnico e outras variáveis indicativas de desempenho da indústria. Dada a complexidade de tal conexão, os autores sugerem que

o desafio da modelagem é elaborar uma estrutura formal simples que permita a exploração de algumas das mais interessantes dessas conexões, e que seja suficientemente transparente para que os resultados do modelo possam ser entendidos e reconsiderados no contexto da realidade mais complexa. (p.408)

Dentre as hipóteses que caracterizam esse modelo estão: 1) as firmas produzem um produto homogêneo; 2) a firma opera uma única técnica, que é a melhor disponível no período; 3) as técnicas são caracterizadas por retornos constantes à escala e coeficientes fixos de insumos; 4) a oferta dos fatores é perfeitamente elástica e seus preços são constantes ao longo do período em questão; 5) a firma pode elevar sua produtividade a partir de gastos em P&D inovativo e em P&D imitativo, e a magnitude desses gastos reflete o tamanho da firma, já que são proporcionais ao capital (Nelson & Winter, [1982]/2005, p.408-9).

Dado que as técnicas requerem os mesmos insumos complementares por unidade de capital, e que os preços dos insumos do ramo são constantes, os custos por unidade de capital das firmas também serão constantes.

Entretanto, o custo por unidade do produto se apresenta como uma variável do modelo, já que são as diferentes técnicas utilizadas pela firma, ou os diferentes níveis de produtividade, que determinam os custos unitários. Desse modo, à medida que novas técnicas mais produtivas são colocadas em uso, seja por meio de

políticas de P&D inovativo, seja por meio de políticas de P&D imitativo, o custo do produto tende a cair.

Nesse modelo, o produto da firma i no tempo t , Q_{it} , é igual ao seu estoque de capital, K_{it} , multiplicado pela técnica de produção, A_{it} . E o produto do ramo, por sua vez, é a soma dos produtos das firmas individuais. Ou seja,

$$(1) Q_{it} = A_{it}K_{it}$$

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

O preço é determinado pelas condições de demanda com que a indústria se depara.

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

A partir do custo unitário de produção e do preço do produto é possível determinar para cada firma a razão entre o preço e o custo unitário de produção, ou a razão preço-custo que também é conhecido como *mark-up* da empresa.

O lucro sobre o capital é determinado pela receita total por unidade do capital subtraída do custo total de produção por unidade de capital e dos custos de P&D inovadores e imitadores por unidade de capital.

$$(4) \Pi_{it} = (P_t A_{it} - c - r_{im} - r_{in})$$

É através do processo de busca tecnológica, que pode ocorrer tanto por meio de políticas de imitação como de inovação, que as firmas introduzem novas técnicas, a fim de elevar a sua produtividade. Assume-se que a indústria seja um *mix* de inovadores e imitadores.

E os dispêndios em P&D inovativo ou imitativo são definidos por unidade de capital. Diante disso, os níveis de dispêndios em P&D inovativo e imitativo, que geram diversidade entre as firmas e

modificam as suas produtividades, crescerão quando as empresas crescerem, e serão reduzidos quando as empresas estiverem em declínio. Com isso, é possível afirmar que a magnitude desses gastos reflete o tamanho da firma, pois as firmas grandes gastarão mais em P&D do que as firmas pequenas. Contudo, os resultados desses dispêndios são incertos, e, portanto, desconhecidos previamente. Como resultado, o sucesso de imitação ou inovação é expresso a partir das seguintes probabilidades:

$$(5) \Pr(d_{imt} = 1) = a_m r_{im} K_{it}$$

$$(6) \Pr(d_{int} = 1) = a_n r_{in} K_{it}$$

Disso segue-se que a probabilidade de que a firma inove ou imite é proporcional ao dispêndio da firma nessas atividades. O sucesso da imitação permite que a firma copie a melhor prática do setor e que, portanto, incorpore a maior produtividade.

No caso de P&D inovativo, por outro lado, a produtividade alcançada pela firma não é conhecida previamente, mas é o resultado de um processo estocástico de dois estágios, em que se verifica que

sucesso no primeiro estágio garante acesso no segundo estágio no qual a firma acessará uma tecnologia cuja produtividade não é conhecida previamente. Assim, a produtividade a ser obtida é uma variável aleatória que possui distribuição log normal, cuja média cresce a uma taxa exógena [...] que dá o ritmo de expansão da produtividade latente.¹³ (Almeida, 2004b, p.294)

No caso de gastos com P&D inovativo e imitativo, o nível de produtividade será dado pela produtividade da técnica até então

13. De acordo com Nelson & Winter ([1982]/2005, p.411) “sob essa especificação, o que a firma obtém hoje como resultado de uma escolha de inovação independe do que ela pode ter encontrado no ano passado ou no ano retrasado. E o universo que serve de base à escolha é mais rico em técnicas produtivas do que o das escolhas anteriores”.

utilizada pela firma, pela produtividade da técnica copiada, ou seja, pela produtividade da melhor prática, e pela produtividade obtida através do sucesso inovativo, ou seja:

$$(7) A_{i(t+1)} = \text{Max}(A_{it}, \hat{A}_i, \tilde{A}_{it})$$

As firmas são caracterizadas pelos lucros que investem em imitação e inovação e também pela sua função investimento, que, por sua vez, determina a sua expansão ou contração no mercado. E dentre os fatores determinantes das decisões de investimento da firma estão: i) o *mark-up* da firma (isto é, a razão entre o preço e o custo unitário de produção); ii) a sua participação no mercado; iii) a sua lucratividade, que, indiretamente, pode afetar a capacidade de investimento da firma, através das limitações de financiamento que pode impor; e iv) a taxa de depreciação física do capital.

Uma das principais conclusões desse modelo é que, à medida que melhores tecnologias são encontradas ao longo do tempo, os níveis de produtividade tendem a se elevar; em contrapartida, os custos unitários de produção tendem a cair. E, como resultado, o preço tende a cair e a produção do ramo tende a aumentar. As firmas lucrativas se expandem e as não lucrativas se contraem.

A partir das simulações computacionais, Nelson & Winter ([1982]/2005, p.423-35) procuraram relacionar a influência da concentração inicial do setor sobre o seu desempenho, e também procuraram relacionar os efeitos da concentração sobre a maneira pela qual a estrutura do setor evolui ao longo do tempo. Dentre as variáveis de desempenho do setor, analisadas pelos autores, estão: a produtividade do ramo, a produtividade média, os custos de produção do setor, os preços, e os efeitos da concentração.

Em um primeiro passo, esses resultados são comparados para uma indústria baseada na ciência. Os autores analisam cinco conjuntos diversos de condições iniciais, com 2, 4, 8, 16 e 32 firmas. Consideram ainda que as firmas se deparam com dois regimes diferentes de financiamento. Enquanto, em um regime, a firma pode tomar emprestado 2,5 vezes seus próprios lucros líquidos para fi-

nanciar os investimentos, no outro regime, os empréstimos da firma são limitados aos seus lucros.

Os autores supõem ainda que metade das firmas gasta em P&D inovadoras e imitadoras e a outra metade apenas em P&D imitadoras. Todas as firmas são inicialmente do mesmo tamanho e têm o mesmo nível de produtividade e os mesmos custos de produção iniciais, contudo, as que gastam em P&D inovadoras e imitadoras têm custos totais por unidade de produto mais alto.

Os resultados alcançados a partir das simulações foram os seguintes:

(1) A produtividade das firmas inovadoras (produtividade da melhor prática) é superior à das imitadoras, entretanto, essa produtividade mostrou-se pouco relacionada com a estrutura de concentração inicial, uma vez que, para os cinco conjuntos analisados, a produtividade apresentou pouca variação de uma estrutura para outra. Contudo, mesmo assim foi possível verificar que a produtividade das firmas inovadoras é um pouco menor no caso em que há uma estrutura mais competitiva (32 firmas) do que no caso em que há menos concorrência (8 firmas).

(2) A produtividade média da indústria também está relacionada ao grau de concentração, uma vez que os resultados mostraram que, diante de uma estrutura mais concentrada, a produtividade média cresce mais rapidamente e os custos médios de produção caem mais rapidamente do que no caso de estruturas menos concentradas. Além disso, quanto maior for essa firma inovadora ou imitadora maior será o impacto sobre a produtividade média, dado que a primeira é capaz de aproveitar por mais tempo os resultados decorrentes da inovação enquanto a segunda é capaz de se aproveitar da imitação.

(3) Quanto aos custos de produção, estes também se mostraram relacionados ao grau de concentração e as simulações indicaram que, em estruturas mais competitivas, os custos de produção são maiores, já que a produtividade média é menor. E disso segue que o *mark-up* médio da indústria (razão preço-custo) também é menor em estruturas mais competitivas. Assim, em estruturas

menos competitivas, as firmas com grande poder de mercado têm o poder de arbitrar preços, independente do preço médio praticado na indústria, gerando, portanto, preços e margens de lucro maiores.

(4) O índice Hirschman-Herfindahl (uma medida de concentração da produção na indústria) indicou que estruturas iniciais concentradas tendem a permanecer concentradas e que estruturas iniciais mais competitivas tendem a se concentrar. E esse aumento da concentração implica a redução das políticas de investimento em P&D inovadores.

Após realizar uma pequena apresentação desse modelo, procurando destacar as hipóteses da qual ele parte e os principais resultados alcançados pelas simulações realizadas, a próxima seção tem por objetivo identificar as características desse modelo que permitem aproximá-lo da abordagem dos sistemas complexos, ou da perspectiva *agent-based*.

O modelo evolucionário de Nelson e Winter e o método ABM

Nelson & Winter ([1982]/2005) relacionam o processo de modelagem com os avanços da pesquisa empírica e a importância de seu trabalho é notória, quando se verifica que diversos estudos posteriores foram desenvolvidos e receberam influência desse modelo inicial.¹⁴

Para Dawid (2006), dentre os argumentos que justificam a utilização de métodos de simulação em ambientes que exibem mudança tecnológica estão: i) a existência de *feedbacks* entre o indivíduo e a população; e ii) a maneira com que o processo de tomada de decisão é enxergado dentro da firma.

No que diz respeito ao primeiro argumento, verifica-se que, assim como a população é determinada pela agregação das decisões individuais, as decisões dos indivíduos também são determinadas

14. Alguns trabalhos, entretanto, também vêm sendo conduzidos fora do escopo da análise evolucionária.

pelas características da população. Mais especificamente, interessa relacionar essa perspectiva à geração, seleção e difusão de inovações, num contexto em que as estruturas observadas na população são um reflexo das decisões tomadas internamente, mas também que as decisões dos indivíduos estão diretamente relacionadas ao todo.

Segundo Dawid (2006), tal perspectiva requer uma análise do indivíduo e da população, assim como uma análise do *feedback* entre os dois. E essa interação envolve variedade, o que implica a existência de heterogeneidade de comportamento entre os agentes econômicos, de modo que tal análise requer métodos de simulação.

Na abordagem evolucionária, mais especificamente em ambientes que exibem inovação, os conjuntos de escolhas não são conhecidos e dados, e as firmas não respondem da mesma forma aos sinais de mercado, apresentando diversidade de comportamento e respostas diferenciadas às situações enfrentadas,¹⁵ o que impossibilita a tomada de decisões maximizadoras por parte dos agentes, que, por outro lado, agem sob racionalidade procedimental e são guiados por práticas rotineiras de conduta.

Tal mudança de foco torna os modelos baseados no agente uma escolha natural, uma vez que eles facilmente permitem a incorporação de processos de decisão confiando em conjuntos ou hierarquias de regras, enquanto tais tentativas são desajeitadas em formulações analíticas puras e em geral não admitem caracterizações matemáticas gerais. (Dawid, 2006, p.1245)

Nesse ambiente, de maneira diferente, as firmas, para tomarem suas decisões, procuram desenvolver rotinas a fim de lidar com as situações enfrentadas ao longo do tempo. O processo de tomada de decisões é então caracterizado pelo seu grupo de rotinas, as quais desempenham um importante papel como memória organizacional.

15. Tal diversidade de respostas é verificada até mesmo em situações em que as firmas estão expostas aos mesmos sinais de mercado.

De maneira geral, esses modelos caracterizam-se por simplificar as decisões e reduzir o número de variáveis envolvidas e o custo no processamento, cálculo e gerenciamento das decisões. Algumas dessas rotinas desenvolvidas se sobressaem ao longo do tempo por representar respostas superiores para os problemas enfrentados, enquanto outras acabam sendo descartadas. Logo, são as rotinas mais bem desenvolvidas, denominadas estratégias de busca, que determinarão o nível e a direção da busca, as quais, por sua vez, influenciam a forma e a velocidade da mudança tecnológica.

No modelo de concorrência schumpeteriana desenvolvido na seção anterior, as estratégias assumidas não partem de condições de equilíbrio ou de cálculos de maximização, mas são resultado de diversidade e incerteza entre as firmas.

O modelo considera dois tipos de comportamento da empresa: as políticas voltadas para a inovação e as políticas voltadas para a imitação. Considera ainda que as empresas, ao se engajarem em uma estratégia de P&D, não têm condições de saber se serão ou não bem-sucedidas, e tampouco poderão conhecer o nível apropriado de P&D inovativo ou imitativo, dado que as respostas a essas questões também dependem das escolhas feitas pelas outras firmas.

Desse quadro, deve-se levar em conta o processo de aprendizagem e apenas o curso dos acontecimentos poderá revelar se a estratégia foi ou não bem-sucedida. Ou seja,

apenas o curso dos eventos ao longo do tempo determinará e revelará quais são as melhores estratégias. E mesmo o veredicto da percepção tardia do que deveria ter sido feito pode não ser claro, pois diferenças de sorte podem fazer que as mesmas políticas que são brilhantemente bem-sucedidas para algumas firmas sejam fracassos funestos para outras. (Nelson & Winter, [1982]/2005, p.415).

Ao tratar dessas decisões, que estão envoltas pelo ambiente de incerteza, Nelson & Winter (1977) também chamam a atenção para a necessidade de estudar as questões relacionadas às instituições, uma vez que estas desempenham um importante papel na ge-

ração e na exploração da inovação, e fornecem um entendimento mais esclarecedor do comportamento do que a hipótese de escolha plenamente racional.

A inclusão da discussão acerca das instituições é fundamental, uma vez que elas se encontram diretamente relacionadas ao comportamento das firmas, que estão numa constante busca pelo aumento de sua base de conhecimento. A importância das instituições está ainda diretamente relacionada ao arcabouço legal que garante as condições de apropriabilidade, isto é, a facilidade ou dificuldade de imitação em determinado mercado.

Com relação ao primeiro argumento, vale observar que a inovação tecnológica, para a abordagem evolucionária, não se apresenta como um processo puramente aleatório, resultante de um ato único do inovador, sobretudo porque se desenvolve por meio de procedimentos estabelecidos presentes nas rotinas, na busca e na seleção (interna e externa). Também não pode ser vista como um processo cujo resultado desaponta, uma vez que recebe crescente apoio dos avanços científicos em diversas áreas. A inovação, por outro lado, é também enxergada como um processo que sofre transformações ao longo do tempo, e geralmente é definida em relação à tecnologia já em uso; em relação às condições econômicas; e também em relação aos avanços tecnológicos já conquistados em outras firmas, organizações ou países (Dosi, 1988d).

A atividade inovativa, nesse sentido, envolve de modo predominante uma organização formal obtida a partir da infraestrutura tecnológica – dos laboratórios em P&D das grandes empresas, governos e universidades, e também a partir das relações entre ciência e tecnologia. Além disso, a existência dessa organização formal permite descrever o ambiente no qual a firma opera e sua existência torna o processo inovativo uma constante nas atividades da firma, o que faz com que as inovações sejam enxergadas como uma atividade profissional e não como uma atividade meramente ocasional ou circunstancial.

O processo inovativo passa então a ser visto como um processo institucionalizado, no qual as atividades inovativas são cada vez

mais sistemáticas e integradas às atividades das firmas, de tal modo que tais atividades passam a estar vinculadas a um esforço permanente por parte dessas firmas no que diz respeito ao desenvolvimento de novos processos de busca, novos mecanismos de seleção e novos procedimentos rotineiros voltados à criação de novos produtos e processos¹⁶ e também ao aperfeiçoamento de produtos e processos já existentes.

Segundo Dosi (1988b), tal forma de exploração da inovação, isto é, a partir da consideração dessas organizações integradas de pesquisas, tem se sobressaído em relação aos inovadores individuais, uma vez que se apresenta como sendo mais eficiente do que estes na exploração e na internalização dos aspectos cumulativos e tácitos do conhecimento tecnológico.

Além disso, diante da existência desses aspectos tácitos, idiossincráticos e particulares à firma, os laboratórios de P&D industrial presentes no interior da firma, os quais estão diretamente relacionados aos departamentos de produção e *marketing*, tornam-se mais vantajosos do que os laboratórios de P&D externos, uma vez que a pesquisa é moldada de acordo com essas particularidades. E tal forma de organização caracteriza-se por facilitar a comunicação e o fluxo de informação entre o laboratório de P&D e a firma e vice-versa.

De acordo com Dosi (1988b), esses indivíduos e grupos ligados por meio de rotinas aumentam a eficiência organizacional, uma vez que esses processos estão relacionados a aumentos nas habilidades das organizações empresariais em aprender e desenvolver procedimentos que elevem a eficiência na produção. Diante disso, as pesquisas conduzidas pelas organizações formais, uma vez mais, são mais eficientes na internalização dos aspectos cumulativos e tácitos do conhecimento tecnológico.

16. Para a criação desse ambiente econômico favorável, as empresas estão empenhadas em criar infraestrutura tecnológica, desenvolver formas de aprendizado, interagir com universidades e centros de pesquisas tecnológicas, dificultar imitação de resultados inovativos, etc.

Entretanto, apesar da crescente rotinização das atividades inovativas, estas ainda possuem um componente de incerteza, o qual pode ser relacionado sobretudo à falta de conhecimento *ex ante* dos custos e resultados das diferentes alternativas, e também à falta de conhecimento de quais são as alternativas disponíveis.

O comportamento, que é caracterizado como *rule-guided*,¹⁷ é representado na forma de rotinas que podem não ser ótimas, e, diante disso, a busca por melhores rotinas estão sempre presentes. Em tais situações, as instituições¹⁸ podem atuar como fontes redutoras de incerteza, ao desempenhar um papel restritivo e, diante disso, controlar o comportamento e pensamento das pessoas, e ao dar estabilidade ao pensamento e ao comportamento dos agentes (Dequech, 2007).

Outro importante argumento para justificar a relação entre o presente tema e os aspectos institucionais reside na necessidade de compreender o papel do arcabouço legal que garante as condições de apropriabilidade das empresas, protegendo as inovações das imitações dos seus concorrentes, e garantindo que as empresas inovadoras se apropriem dos benefícios econômicos acumulados das suas pesquisas. Isso protege as empresas de um eventual processo de imitação por parte dos seus concorrentes, o que, por seu turno, amplia os incentivos que envolvem a exploração de novas oportunidades tecnológicas.

Cabe ressaltar que, numa condição em que as instituições são pouco ativas na proteção às patentes, ou seja, em condições em que o conhecimento é facilmente difundido e, portanto, de baixa

17. Os comportamentos são “[...] guiados e restringidos por valores socialmente assegurados e impostos, normas, convicções, costumes e práticas geralmente aceitas” (Dosi & Nelson, 1994, p.159).

18. De acordo com Dequech (2007), as instituições podem ser de dois tipos: formais e informais. Dentre as instituições formais que contribuem para a redução da incerteza, o autor destaca: os contratos; as leis; os *market makers*; e as agências de Estado. E entre as instituições informais destaca as convenções e as normas sociais informais.

apropriabilidade,¹⁹ as empresas teriam pouco incentivo para investir em inovação. Em geral, a estrutura institucional é bastante complexa e pode ser bastante diferente e variar entre os diversos setores. Ela depende de alguns fatores como: as tecnologias básicas, a natureza da demanda pelos bens e serviços, e as características das organizações.

Portanto, a discussão acerca da inovação, não pode ser resumida apenas a uma questão de tamanho ou poder de mercado das firmas, como sugere a abordagem ortodoxa ao imputar significativo peso a esses fatores (Nelson & Winter, 1977). Isso porque as firmas diferem tanto em tamanho como em capacitação tecnológica, estratégias de produção e comercialização, graus de inovatividade e de sucesso competitivo, custos de produção e lucratividade. Nesse sentido, um entendimento da relação entre a inovação e o desempenho das firmas também implica uma análise do processo competitivo e dos mecanismos de aprendizado mediante os quais a indústria evolui (Dosi, 1988b).

De maneira geral, é por meio das buscas tecnológicas, seja por imitação ou inovação, que as firmas introduzem novas técnicas na tentativa de melhorar ou ao menos manter seu desempenho competitivo dentro da indústria. A introdução de novas técnicas a partir do processo de busca cria assimetrias competitivas, uma vez que as diferentes estratégias de inovação ou imitação geram diferentes impactos sobre o desempenho das firmas, que podem ser traduzidas em vantagens de custos ou em outras formas de vantagens de desempenho. E essas assimetrias tecnológicas e variedade tecnológica são enxergadas tanto como um resultado quanto como uma força motriz da mudança organizacional e tecnológica. E é essa diversidade que alimenta o processo de seleção da indústria (Almeida, 2004).

19. Disso segue-se que os direitos de apropriação das inovações tecnológicas podem, em alguns casos, ser garantidos institucionalmente, por meio, por exemplo, do direito de patentes.

Nelson & Winter ([1982]/2005) procuraram construir um modelo de simulação que fosse capaz de admitir e gerar uma diversidade de comportamentos no nível das firmas individuais e também que fosse capaz de explicar os padrões de variáveis agregadas, isto é, os fatos estilizados que emergem das interações no nível micro. Tal arcabouço teórico evolucionário, ao lidar com variedade e diversidade de estratégias, requer métodos de simulação para o seu desenvolvimento, pois os agentes se baseiam em regras que diferem tanto com relação ao seu estoque de capital e emprego de tecnologia, mas também com relação às estratégias de produção e inovação, de tal forma que, enquanto algumas firmas se empenham em liderar as inovações tecnológicas, outras estão empenhadas apenas em acompanhar o sucesso das primeiras por meio de imitação.

Isso implica que o comportamento do tomador de decisão deve ser determinado por um processo de seleção entre diferentes alternativas e não meramente por um cálculo de otimização bem definido. E, dada a tecnologia e as rotinas utilizadas pelas firmas, o seu desempenho será determinado tanto pelo que estiverem realizando como pelo que os seus competidores estão fazendo no mercado. E esse processo de seleção que se estabelece tende a gerar estruturas industriais bastante diferenciadas umas das outras, o que, ao gerar diversidade e variedade no sistema, afasta-o das posições de equilíbrio propostas pela abordagem neoclássica tradicional.