



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Economia

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E APRENDIZADO AGRÍCOLA: UMA ABORDAGEM SCHUMPETERIANA

José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da UNICAMP para obtenção do título de Doutor em Ciências Econômicas – área de concentração: Teoria Econômica, sob a orientação do Prof. Dr. José Maria Ferreira Jardim da Silveira.

*Este exemplar corresponde ao original da tese defendida por **José Eustáquio Ribeiro Vieira filho** em 27/02/2009 e orientado pelo **Prof. Dr. José Maria Ferreira Jardim da Silveira**.*

CPG, 27 / 02 / 2009

Campinas, 2009

**Ficha catalográfica elaborada pela biblioteca
do Instituto de Economia/UNICAMP**

V673i	Vieira Filho, Jose Eustaquio Ribeiro. Inovação tecnologica e aprendizado agricola: uma abordagem Shumpeteriana / Jose Eustaquio Ribeiro Vieira Filho. – Campinas, SP : [s.n.], 2009. Orientador : Jose Maria Ferreira Jardim da Silveira. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia. 1. Economia evolucionaria. 2. Inovações tecnologicas. 3. Inovações agricolas. I. Silveira, Jose Maria Ferreira Jardim da. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Titulo. 09-009-BIE
-------	--

Título em Inglês: Technological innovation and agricultural learning: a Schumpeterian approach

Keywords : Evolutionary economics; Technological change; Agricultural innovations

Área de concentração : Teoria Econômica

Titulação : Doutor em Ciências Econômicas

Banca examinadora : Prof. Dr. Jose Maria Ferreira Jardim da Silveira
Prof. Dr. Antonio Marcio Buainain
Prof. Dr. Sergio Luiz Monteiro Salles Filho
Prof. Dr. Yves Andre Faure
Profa. Dra. Maria da Graça Derengowski Fonseca

Data da defesa: 27-02-2009

Programa de Pós-Graduação: Ciências econômicas

Tese de Doutorado

Aluno: JOSÉ EUSTÁQUIO RIBEIRO VIEIRA FILHO

**“Inovação Tecnológica e Aprendizado Agrícola:
Uma Abordagem Schumpeteriana”**

Defendida em 27 / 02 / 2009

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. JOSÉ MARIA FERREIRA JARDIM DA SILVEIRA
Orientador – IE / UNICAMP



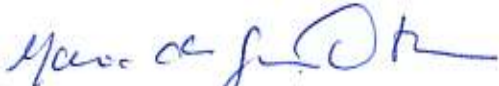
Prof. Dr. ANTONIO MARCIO BUAINAIN
IE/UNICAMP



Prof. Dr. SERGIO LUIZ MONTEIRO SALLES FILHO
IG/UNICAMP



Prof. Dr. YVES ANDRE FAURE
Université Montesquieu – Bordeaux IV - França



Profa. Dra. MARIA DA GRAÇA DERENGOWSKI FONSECA
UFRJ

Aos meus pais,
José Eustáquio Ribeiro Vieira e
Maria Auristela Nogueira Vieira.

AGRADECIMENTOS

O objetivo desta tese está em propor um mecanismo alternativo de análise que compreenda a importância do desenvolvimento agrícola no conjunto da economia. É fato consumado a importância da agricultura no crescimento econômico e da tecnologia nos ganhos produtivos e, neste trabalho, passos interessantes foram dados na direção de uma melhor compreensão da dinâmica agrícola.

A idéia que inspirou esta pesquisa remonta aos meus estudos realizados no mestrado, na Universidade Federal de Viçosa – UFV. Muitas das questões não respondidas na dissertação foram exaustivamente trabalhadas na tese que ora é apresentada. Foi um privilégio enorme estudar numa das melhores escolas do Brasil, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, como também realizar estágio de doutoramento numa das mais conceituadas instituições de ensino da França, *Université Montesquieu Bordeaux IV*.

Antes mesmo de iniciar qualquer referência, registro a minha dívida para com a sociedade brasileira. É necessário identificar o quão importante foi o financiamento dos meus estudos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Além de garantir a qualidade do tema abordado nesta pesquisa, tal financiamento propiciou o aprimoramento da minha formação. Num país onde os recursos são escassos, devemos valorizar oportunidades deste tipo, já que o investimento em educação é imprescindível na construção de um futuro melhor. É praticamente impossível agradecer todas as colaborações, críticas e sugestões recebidas ao longo desse caminho. Não poderia deixar de mencionar aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste trabalho tanto no Brasil quanto na França.

No Instituto de Economia da UNICAMP, foi fundamental não apenas a infra-estrutura e o ambiente de trabalho, como também a orientação adequada na

investigação do comportamento agrícola. Fico profundamente grato ao professor e orientador José Maria Ferreira Jardim da Silveira, que acreditou no meu sonho e na proposta apresentada. Nossa amizade se iniciou no Seminário da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural do ano de 2004. No Núcleo de Economia Agrícola – NEA – da UNICAMP, desenvolvemos diversos trabalhos e pesquisas, o que contribuiu com um melhor entendimento da complexidade da agricultura. Ao longo do doutorado, a experiência didática adquirida com o ministério das disciplinas de Microeconomia e Economia Industrial ajudou a consolidar o embasamento teórico necessário à minha formação, notadamente na área de modelagem.

É preciso reconhecer a influência no meu pensamento de alguns dos professores da UNICAMP, reiterando minha gratidão a Antônio Carlos Macedo e Silva, David Dequech, Frederico Mazzucchelli, José Carlos de Souza Braga, Júlio Sérgio Gomes de Almeida, Luciano Coutinho, Mariano Francisco Laplane, Paulo Sérgio Fracalanza, Ricardo de Medeiros Carneiro e Rodolfo Hoffmann.

É óbvio que a absorção e o debate de novos conhecimentos fornecidos por tais professores se fizeram juntamente com a convivência de alguns colegas de doutorado, os quais me proporcionaram troca de idéias e longas discussões sobre os rumos políticos e econômicos do nosso país. Afinal, para se discutir economia, é preciso debater a conjuntura política. Fica o meu reconhecimento, em especial, aos grandes amigos Bruno Leonardo Barth Sobral, José Pedro Fonseca e Marcos Barcellos, com os quais respirei o ambiente universitário, bem como dividi aspirações, experiências e ideais.

Agradeço também a Aderbal Oliveira Damasceno, Adriana Carvalho Pinto Vieira, Alexandre Gori Maia, Ana Cristina Cerqueira, Andréa Mara Pereira, Antônio Diegues Júnior, Bruno de Conti, Camila Gripp, Cid Olival, Cláudio Roberto Amitrano, Cristina Helena Almeida de Carvalho, Divina Lunas, Edison Benedito da Silva Filho, Eduardo Angeli, Eduardo Roberto Zana, Fabrício Pitombo Leite, Felipe Giesteira, Fernando Lima, Frederico Valente, Giuliano Contento de Oliveira, Gustavo Aggio, Izaías Borges de Carvalho, Josi Fachini Falvo, Juan Ernesto Sepulveda, Lucas Ferraz Vasconcelos, Lucas Teixeira, Manoel Carlos Justo,

Marcelo Pereira da Cunha, Maria Alice Pestana de Aguiar Remy, Oscar Sarcinelli, Pedro Abel Vieira Júnior, Pedro Rossi, Petterson Molina Vale, Rafael Fagundes Cagnin, Tatiana Pedro Colla Belanga e Thomas de Toledo.

O estágio de doutoramento realizado na França se justificou como um trabalho de interesse mútuo entre as instituições brasileira e francesa, com significativo retorno para ambos os lados. Na *Université Montesquieu-Bordeaux IV*, sob a supervisão do professor Murat Yildizoglu, trabalhamos junto ao *Groupe de Recherche en Économie Théorique et Appliquée - GREThA*, considerado um dos grupos de pesquisas mais avançado no debate da economia evolucionária, sendo possível aprofundar o tema da inovação e da mudança tecnológica na agricultura, bem como atingir as metas propostas pelo projeto de pesquisa.

O aprendizado em Bordeaux das técnicas de modelagem evolucionária (através do curso ministrado pelo Professor Marco Valente da Universidade de Áquila - Itália) permitiu o avanço na construção do modelo evolucionário de aprendizado agrícola, o qual é apresentado nesta tese de doutoramento. Através de diversos seminários internos, o intercâmbio acadêmico patrocinado pela CAPES estabeleceu base para um contato permanente com renomados professores e pesquisadores das áreas de modelagem e de inovação tecnológica, tais como Yves André Fauré, Murat Yildizoglu, Yannick Lung, Vanessa Oltra, Maïder Saint-Jean e Mathieu Becue.

Cabe ressaltar a profícua relação com os alunos do curso de doutoramento da Universidade de Bordeaux, especialmente Eric Brouillat, pelo repasse de importante fonte bibliográfica, e Sylvain Moura, pela amizade e alegria do dia a dia. É com grande estima que também registro o meu reconhecimento aos colegas de laboratório, Adrien Querbès-Revier, Aurélie Lalanne, Aurélien Decamps, Coralie Reslinger, Dayane Lima Rabelo de Souza, Jean-Philippe Berrou, Ji-Yong Lee, Martin Zumpe, Matthieu Montalban, Mohieddine Rahmouni e Nicolas Bedu.

A experiência acadêmica na França proporcionou retornos científicos, os quais se transformaram em objeto de estudo e importante aprendizado cultural, que não pode ser mensurado nos manuscritos, mas que fundamentalmente

contribuiu em minha evolução como pessoa, bem como na forma de enxergar o mundo. Anteriormente, havia morado no Rio de Janeiro e em Campinas longe da família, mas a experiência de residir em outro país, de língua e cultura diferentes, foi extremamente enriquecedora.

Ao ocupar uma residência universitária, conheci de perto a realidade francesa, notadamente na diversidade e multiplicidade cultural. O meu crescimento individual se fez mediante o convívio com amigos franceses, europeus, africanos e muçulmanos. Aos amigos do *village* (minha família na França), fica o meu eterno agradecimento, já que os mesmos, não apenas me aceitaram da forma como eu era, como passaram a me admirar, exclusivamente pelos valores familiares que eu carregava. Não os esquecerei jamais, Adil Meziani, Adriel Yoshio Santos Igarashi, Akue Lendoye Joe Delbrim, Anda Mize, Andeta Jonuzaj, Anne de Wolf, Antoine Rouxel, Asmae Daki Amor, Bekzod Yakubov, Cordula Giesecke, Ditila Lalaj, Djaoued Abid, Elodie Teixeira, Etienne Pouillet, Fatou Ndao, Florent Lallemand, Gaspardh Mpassy, Giovanna Patti, Haydar Abdalla, Hicham Laghraib, Ilham Oihi, Juna Paluka, Kemon Damien Charles, Kerroumi Brahim, Kwinta Barbara, Laura Fontanié, Lino Alicandro, Manoël Buisson, Manuela Ingallinesi, Martina Fantin, Martina Zamuner, Mélissa Devier, Nabil Bikourane, Nadine Göthel, Patten Astrina, Petra Krämer, Pina Dhima, Raimonda Lanauskaite, Raquel Finco, Sebastian Dijoux, Sebastian Knödel, Suka Takala, Wafa Chaouch e Zara Weekes-Rhyzer.

Por estas razões, o estágio de doutoramento na *Université Montesquieu-Bordeaux IV* foi cumprido com êxito e sucesso, tendo contribuído de forma acadêmica, cultural e científica para o complemento e aperfeiçoamento dos meus conhecimentos. É impossível dimensionar a relevância de tal contribuição.

Ciente do risco de cometer algumas injustiças, farei mais alguns agradecimentos. Quanto às relevantes críticas e sugestões, agradeço aos professores integrantes da banca de defesa desta tese, Antônio Márcio Buainain do Instituto de Economia da UNICAMP, Maria da Graça Derengowski Fonseca da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ; Sérgio Salles-Filho do Instituto de Geociências da UNICAMP e Yves André Fauré da *Université Montesquieu-*

Bordeaux IV. Particularmente, ao professor Yves, fica o meu eterno agradecimento pela nossa amizade desde o Rio de Janeiro, na UFRJ, até os momentos mais difíceis que passei na França; mais do que um professor, um grande amigo e companheiro.

Agradeço também de forma especial aos funcionários da secretaria da UNICAMP, da copiadora (Xerox) e do NEA, José Alberto Curti, Marinete da Silva Correia, Maria Aparecida Fernandes, Régis Caetano Nascimento, Regina Voloch Santin, Pedro Antonio Biffi, Maria do Rosário Ferreira, Alexsandro de Almeida, Daniel Antônio de Oliveira, José Antônio Lavagnoli, Loilson Eiji Ishiko, Mariana da Costa Ishiko, Maria Sebastiana Nogueira Vieira e Shirlei Ediene Ferreira.

Por fim, aos familiares e amigos que sempre me acompanharam nesta jornada, José Eustáquio Ribeiro Vieira, Maria Auristela Nogueira Vieira, Luciana Nogueira Vieira, Leonardo Nogueira Vieira, Lennon Silva Mesquita Vieira, Fernando Vieira Altero, Laura Lima Vieira, Iara Lima Vieira, Gabriela Lima Vieira, Bruna Jardim Verdolin D'Abreu, Maria Carolina Avanci, Maria Laura David, Rafael Giannetti Viotti, Dito Passos, Graziela Bandeira Magalhães, Cláudia Pereira, Walber Machado de Oliveira, Cândido Luiz de Lima Fernandes e, especialmente, Juliana Giannetti Duarte, uma grande companheira em todos os momentos.

Além do objetivo maior de desenvolvimento da ciência econômica, no que diz respeito à abordagem evolucionária aplicada à agricultura, a defesa desta tese foi também uma conquista pessoal. O doutorado sempre foi um dos meus sonhos e consequência de toda uma trajetória acadêmica. Mesmo antes de ingressar na graduação, na Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, tinha já em mente cursar mestrado e doutorado. A determinação foi uma das minhas principais características e a vontade de vencer o meu principal norte. Vale lembrar que, de nada adiantaria meu esforço, se não tivesse o comprometimento maior com os meus ideais. Para vencer na vida, é necessário muita dedicação, trabalho, compromisso e força de vontade. Nada disso me faltou. Agradecendo a Deus, sinto-me realizado ao concluir este trabalho, tendo a certeza de que uma página se virou. Apesar do grande conhecimento adquirido até então, tenho consciência da importância do aprendizado contínuo. É isto que nos motiva

sempre a sonhar com novos conhecimentos e descobertas e, assim sendo, não haverá céus que limitem os nossos sonhos.

José

E agora, José?
A festa acabou,
a luz apagou,
o povo sumiu,
a noite esfriou,
e agora, José?
e agora, você?
você que é sem nome,
que zomba dos outros,
você que faz versos,
que ama, protesta,
e agora, José?

Está sem mulher,
está sem discurso,
está sem carinho,
já não pode beber,
já não pode fumar,
cuspir já não pode,
a noite esfriou,
o dia não veio,
o bonde não veio,
o riso não veio,
não veio a utopia
e tudo acabou
e tudo fugiu
e tudo mofou,
e agora, José?

E agora, José?
Sua doce palavra,
seu instante de febre,
sua gula e jejum,
sua biblioteca,
sua lavra de ouro,

seu terno de vidro,
sua incoerência,
seu ódio - e agora?

Com a chave na mão
quer abrir a porta,
não existe porta;
quer morrer no mar,
mas o mar secou;
quer ir para Minas,
Minas não há mais.
José, e agora?

Se você gritasse,
se você gemesse,
se você tocasse
a valsa vienense,
se você dormisse,
se você cansasse,
se você morresse...
Mas você não morre,
você é duro, José!

Sozinho no escuro
qual bicho-do-mato,
sem teogonia,
sem parede nua
para se encostar,
sem cavalo preto
que fuja a galope,
você marcha, José!
José, para onde?

Carlos Drummond de Andrade

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xxiii
INTRODUÇÃO	1
1. MARCO-TEÓRICO	11
1.1. Fundamentos da abordagem evolucionária.....	11
1.2. Modelagem evolucionária da dinâmica industrial.....	26
1.2.1. Competição dinâmica e progresso técnico.....	27
1.2.2. Entrada e saída de firmas e regimes tecnológicos alternativos	31
1.2.3. Inovação, diversidade e difusão tecnológica	36
1.2.4. Trajetórias tecnológicas e mudança de paradigma	43
1.3. Organizações retentoras do conhecimento: o processo de aprendizado	51
1.3.1. Inovação, aprendizado e capacidade de absorção	51
1.3.2. Estratégias de aprendizado e o desenvolvimento tecnológico	57
2. APLICAÇÃO TEÓRICA NA AGRICULTURA	65
2.1. Trajetória Tecnológica Ampliada (TTA) da agricultura	65
2.2. Evolução do debate teórico na agricultura: uma revisão crítica	81
2.2.1. Adoção e difusão tecnológica na agricultura	82
2.2.2. Modernização e dualismo tecnológico	87
2.2.3. Inovação induzida	97

2.3. Aprendizado localizado	101
3. MÉTODO DE ANÁLISE	113
3.1. A inovação dinâmica e o processo de competição	113
3.2. Modelo evolucionário de aprendizado agrícola	117
3.3. Análise e discussão dos resultados	123
CONCLUSÕES	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
APÊNDICES	147

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Resumo das diferenças entre os regimes tecnológicos RI e RII	35
TABELA 2 – Indicadores do progresso técnico na agricultura entre 1950 e 2000	76
TABELA 3 – Comportamento da capacidade de absorção do agricultor inovador e imitador	121
TABELA D – Valores iniciais das variáveis e dos parâmetros do MEA	154

LISTA DE GRÁFICOS

	Página
GRÁFICO 1 – Produtividade parcial da terra (quantidade produzida por área) ao longo do tempo	124
GRÁFICO 2 – Investimento por agricultor em área plantada ao longo do tempo	125
GRÁFICO 3 – Custo médio por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo	126
GRÁFICO 4 – Capacidade de absorção por agricultor em área plantada ao longo do tempo	127
GRÁFICO 5 – Capacidade média de absorção por agricultores inovadores e imitadores, comparada com a amplitude e o desvio-padrão em área plantada ao longo do tempo	128
GRÁFICO 6 – Estoque médio de conhecimento em relação ao grau de <i>spillovers</i> por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo	129
GRÁFICO 7 – Capacidade de absorção média em relação à natureza do conhecimento (codificado e tácito) por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo	130

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Curva ou fronteira de produção e interpretações sobre o crescimento da produtividade	12
FIGURA 2 – Paradigma evolucionário como a união de um processo dinâmico e em desequilíbrio com a seleção natural	25
FIGURA 3 – Oportunidade inovativas	45
FIGURA 4 – Inovação e imitação no setor produtor de máquinas (setor 1)	49
FIGURA 5 – Inovação, ciência e tecnologia na organização da atividade agrícola	68
FIGURA 6 – Conteúdo tecnológico, produtividade e principais inovações da agricultura situadas no tempo	72
FIGURA 7 – Etapas do desenvolvimento dos equipamentos e da mecanização na produção de cereais (em quintais)	78
FIGURA 8 – Percentual médio de milho plantado com semente híbrida nos Estados Unidos de 1932 a 1956	83
FIGURA 9 – O custo subjetivo de transferência dos produtores	91
FIGURA 10 – Grau de modernização e curvas de oferta em condições de dualidade tecnológica	96
FIGURA 11 – Mudança técnica induzida na agricultura	100
FIGURA 12 – Mapa de isoquantas na agricultura para uma função de produção de proporções fixas em uma situação dinâmica limitada	114
FIGURA A1 – Curva de demanda de elasticidade unitária	148

RESUMO

A interação entre a ciência, a tecnologia e a produção é bastante discutida sob o enfoque da teoria evolucionária. A definição do setor agrícola como sendo *dominado pelos fornecedores* é uma pressuposição muito restritiva, já que define a mudança tecnológica como residual. Nesse sentido, o presente estudo procura responder ao problema de qual seria o tratamento mais adequado do setor agrícola de produção como dinâmico e propulsor de efeitos de transbordamento.

A compreensão adequada do setor agrícola deve identificar que nem todo o desenvolvimento tecnológico e geração de novos conhecimentos estão cristalizados nos insumos produtivos. A agricultura não funciona por meio de agentes receptores passivos de tecnologias. O processo de inovação na agricultura, que define tanto a questão da adoção quanto os parâmetros da difusão tecnológica, é estruturado dentro de complexos arranjos produtivos e de instituições (públicas e privadas) promotoras do conhecimento.

Considerando a existência prévia de um arcabouço institucional que fomenta a geração de conhecimento público e de oportunidades tecnológicas, este trabalho vem demonstrar que a inovação na agricultura depende da acumulação do conhecimento. O processo de aprendizado do agricultor no decorrer do tempo é responsável pelo aumento da produtividade e, paralelamente, pela redução dos custos de produção, dependendo da capacidade do produtor de interpretar e assimilar as novas informações, bem como da habilidade gerencial do uso do conhecimento tecnológico.

De um lado, grande parte da pesquisa e desenvolvimento é determinada fora da porteira (órgãos públicos e instituições privadas, extensão agrícola e indústrias fornecedoras de insumos tecnológicos) e coordenada por um sistema agro-industrial de inovação, no qual o Estado possui papel preponderante

no provimento de tecnologias de domínio público. De outro, os investimentos e as atividades de experimentação são exercidos dentro da unidade produtiva, gerando maior estoque de conhecimento e ampla capacidade de absorção, além de estimular a apropriação privada dos ganhos produtivos. Desta forma, os investimentos na capacidade gerencial dos agricultores possibilitam um melhor aproveitamento do conhecimento externo. No intuito de sistematizar o encadeamento das principais idéias da dinâmica agrícola, buscou-se identificar a trajetória ampla da agricultura e construir o ***Modelo Evolucionário de Aprendizado***.

Os resultados preliminares mostraram que os produtores inovadores, em média, mantêm posições de vanguarda tecnológica. O aumento da capacidade de absorção auxilia nos ganhos produtivos e nas quedas dos custos. Embora o referencial analítico tenha sido pouco explorado, além de levar em conta as suas limitações, verificou-se que a mudança tecnológica é essencial para a compreensão da dinâmica agrícola, sendo que a adoção tecnológica é, via capacidade de absorção e aprendizagem localizada, uma das formas de tratamento adequado do crescimento do setor agrícola. Este estudo abre perspectivas para uma investigação mais aprofundada nas áreas de redes sociais e externalidades, sugerindo uma linha alternativa de pensamento na literatura do desenvolvimento e crescimento agrícola, até então pouco explorada na economia evolucionária.

Palavras-chave: Economia Evolucionária; Mudança Tecnológica; Inovação; Tecnologia Agrícola.

Códigos JEL: B52, O3, O31 e Q16.

ABSTRACT

The interaction amongst science, technology and production has often been the subject of much debate notably in the framework of evolutionary theory. The definition of the agriculture sector as a *supplier dominated* is a very restrictive supposition which implies that the technological changes would be residual. In this light, the present study seeks to address the problem of what would be the most adequate treatment for the agricultural production sector becoming dynamic and a generator of overflow or surplus effects?

The appropriate understanding of the agricultural sector must come about from the idea that any technological development and the creation of new knowledge are not incorporated in the productive inputs. Agriculture does not cater to the means of the agents which will simply be the receptors of technology. The innovation process within agriculture, defined by the adoption rather than the diffusion of technology, is organized through complex, production systems, as well as institutions, both private and public, which promote knowledge.

Considering the previous existence an institutional structure that promotes the generation of public knowledge and technological opportunities, this study tends to demonstrate that innovation in agriculture depends on the accumulation of knowledge. The learning process of the farmer throughout, determines the increase in productivity, and simultaneously the reduction in the cost of production, which all depends on the ability of the producers to recognize the value of new information, as well as the managerial ability to apply technological knowledge.

On one side, a huge portion of the research and development is carried out externally (such as public organizations, private institutions, agricultural extensions and suppliers of technological inputs) and coordinated by an agro-industrial innovation system in which the State has a predominant role in the

supplement of technologies of public domain. On the other hand, investments and experimentation activities occur within the unit of production, thus creating a wider stock of knowledge and a larger absorptive capacity, in addition to fostering the private appropriation of the gains in production. In this way, the investments in the managerial capability of the farmers allow taking better advantage of the external knowledge. With the aim of systemizing the chains of the main ideas on agricultural dynamics, one has sought to identify an ample trajectory of agriculture and to construct the ***Evolutionary Model of Learning***.

Preliminary results showed that innovative producers on average maintain an avant-garde technological stance. The increase in the absorptive capacity serves to conquer gains in production and to make lower costs. Although the analytic system of reference has not been widely explored and has taken into account its limitations, it has been verified that technological changes is essential to understanding the agricultural dynamics, making clear that the adoption of technology is, through absorptive capacity and local learning, one of the methods of adequately addressing the growth of the agricultural sector. The present study opens perspectives for a more in-depth investigation into the social network domains and externalities and suggests an alternative line of thought in developmental literature and agricultural growth, until now less explored in the evolutionary perspective.

Keywords: Evolutionary Economics; Technological Change; Innovation; Agricultural Technology.

JEL-codes: B52, O3, O31 e Q16.

RÉSUMÉ

L'interaction entre la science, la technologie et la production est fréquemment discutée dans le cadre de la théorie évolutionnaire. La définition du secteur agricole comme étant un secteur *dominé par les fournisseurs* est un présupposé très restrictif impliquant que le changement technologique y serait résiduel. Dans ce sens la présente étude cherche à répondre à la question de savoir quel serait le traitement le plus adéquat du secteur agricole comme dynamique et générateur d'effets de débordement.

La compréhension appropriée du secteur agricole doit partir de l'idée que tout le développement technologique et la création de nouvelles connaissances ne sont pas cristallisés dans les intrants servant à la production. L'agriculture ne fonctionne pas au moyen d'agents qui seraient simplement des récepteurs passifs des technologies. Le processus d'innovation dans l'agriculture, définie tant par l'adoption que par la diffusion des technologies, s'organise à l'intérieur de dispositifs productifs complexes et d'institutions, publiques et privées, promotrices de connaissances.

Prenant en considération l'existence, jugée comme étant donnée, de fondements institutionnels qui soutiennent la génération d'informations publiques et d'opportunités technologiques, cette étude tend à démontrer que l'innovation dans l'agriculture dépend de l'accumulation de connaissances. Le processus d'apprentissage de l'agriculteur au cours du temps est responsable de l'augmentation de la productivité et, parallèlement, de la réduction des coûts de production, le tout dépendant de la capacité du producteur d'interpréter et d'assimiler les nouvelles informations ainsi que de la capacité managériale d'utiliser la connaissance technologique.

D'un côté une grande partie de la recherche-développement est déterminée à l'extérieur (organes publics et institutions privées, extension agricole

et industries fournisseuses d'intrants technologiques) et coordonnée par un système agro-industriel d'innovation dans lequel l'État joue un rôle prépondérant en termes de mise à disposition de technologies relevant du domaine public. D'un autre côté les investissements et les activités d'expérimentation sont réalisés à l'intérieur de l'unité de production créant un stock plus important de connaissances et une ample capacité d'absorption, en plus de stimuler l'appropriation privée de gains de production. De cette manière les investissements dans la capacité entrepreneuriale des agriculteurs rendent possible un meilleur profit tiré des connaissances externes. Dans le but de systématiser l'enchaînement des principales idées sur la dynamique agricole, on a cherché à identifier une trajectoire ample de l'agriculture et de construire le ***Modèle Évolutionnaire d'Apprentissage***.

Les résultats préliminaires montrent que les producteurs innovateurs, en moyenne, conservent des positions d'avant-garde technologique. L'accroissement de la capacité d'absorption aide à conquérir des gains de production et à abaisser les coûts. Bien que le référentiel analytique ait été peu exploré, même si l'on prend en compte ses limites, on a pu vérifier que le changement technologique est essentiel pour comprendre la dynamique agricole, étant entendu que l'adoption de la technologie est, à travers la capacité d'absorption et l'apprentissage local, une des formes pour traiter de façon adéquate la croissance du secteur agricole. La présente étude ouvre des perspectives pour une investigation plus approfondie dans les domaines des réseaux sociaux et des externalités et suggère une ligne alternative de pensée dans la littérature du développement et de la croissance agricoles, jusqu'ici peu explorée dans l'économie évolutionnaire.

Mots-clés: Économie évolutionnaire; Changement technologique; Innovation; Technologie agricole.

Codes JEL: B52, O3, O31 e Q16.

INTRODUÇÃO

A interação entre a ciência, a tecnologia e a produção vem sendo massivamente debatida ao longo das últimas décadas, no contexto industrial. A complexa relação entre a mudança tecnológica e as várias organizações econômicas (ou instituições) propicia elementos básicos para o entendimento do progresso técnico e do crescimento econômico¹. Na agricultura, contudo, a dinâmica tecnológica tem sido mal compreendida, por ser considerada uma atividade de tecnologia embarcada, ou seja, um segmento da economia que depende do fornecimento de tecnologia gerada na produção de insumos. Assim como ocorre na indústria, o crescimento produtivo agrícola está associado às transformações tecnológicas, as quais podem determinar o grau de distanciamento entre o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção.

No tocante à revolução agrícola moderna², estabelecida em meados do século passado, observaram-se distintos resultados na evolução da produtividade agrícola, sendo algumas regiões mais dinâmicas do que outras. Ademais, ao longo do mesmo período, os preços de boa parte dos produtos apresentaram tendências de queda no longo prazo. Somente os agentes mais capacitados puderam aproveitar as oportunidades de mercado, já que estes promoveram a adoção e difusão tecnológica mais moderna. A mudança tecnológica foi capaz de reduzir custos, propiciando aos agricultores rentabilidade financeira mesmo com o declínio do preço de seus produtos. No outro extremo, os agentes que não fizeram

¹ Seguindo a explicação dada por SADOULET & DE JANVRY (1995), mudança tecnológica está associada às mudanças nos parâmetros da função de produção, enquanto que mudança técnica se deve à busca de eficiência alocativa dos agentes face às mudanças nos preços relativos dos fatores. O presente texto refere-se predominantemente às situações relacionadas à mudança tecnológica.

² As exposições subsequentes serão baseadas em FAO (2000), JOHNSON (2000) e EVENSON (2004). Além disso, para um estudo mais detalhado das transformações ocorridas na agricultura nos últimos 50 anos, confira o relatório da FAO (2000) acerca da situação mundial de alimentação e da agricultura.

os investimentos necessários a uma melhor capacitação ficaram marginalizados no sistema de produção por não adotarem as melhores práticas e técnicas.

O extraordinário aumento da produção agrícola mundial pode ser explicado por algumas razões:

- i. a difusão de uma revolução agrícola moderna dos países desenvolvidos (um maior uso de máquinas e implementos agrícolas em grande escala, mecanização, especialização e utilização de produtos químicos, fertilizantes e defensivos) e sua expansão em alguns setores dos países em desenvolvimento;
- ii. a existência, notadamente nos países em desenvolvimento, de uma revolução verde (caracterizada por uma seleção de sementes e embriões de altos rendimentos adequados às regiões áridas e tropicais, bem como por uma utilização intensiva de irrigação e de produtos químicos, tanto no combate às pragas quanto na fertilização do solo), uma forma de revolução agrícola moderna não baseada na mecanização em grande escala;
- iii. a expansão das fronteiras agrícolas, triplicando-se nos últimos 50 anos;
- iv. a expansão da superfície cultivada de terras de baixos cultivos permanentes; e, por fim,
- v. a adoção na maior parte das zonas densamente povoadas de sistemas agrícolas mistos, os quais utilizam profundamente a disponibilidade de biomassa em novas áreas agricultáveis.

Entretanto, estes importantes avanços no crescimento da agricultura podem ocultar os principais problemas enfrentados por grande parte dos agricultores, que utiliza ferramentas e técnicas manuais. Cabe ressaltar que a agricultura mal equipada, com um sistema de produção ineficiente, fica expulsa de uma competição cada vez mais intensa entre a agricultura mais moderna e competitiva. Esta é uma situação que condena a agricultura marginal ao processo tecnológico de produção. É preciso reiterar, por um lado, embora haja um aumento da produtividade, que a revolução agrícola, a descoberta de novas terras agricultáveis e o desenvolvimento de uma agricultura mista, a qual emprega um nível elevado de biomassa, criam uma contradição do ponto de vista do equilíbrio

sócio-econômico, já que, por outro lado, verifica-se um maior empobrecimento com relativa exclusão na agricultura de parte dos agentes produtivos menos capacitados.

A brecha entre os sistemas agrícolas mais e menos produtivos tem sido acrescida em cerca de vinte vezes nas últimas décadas. Tal descolamento está relacionado à heterogeneidade dos processos de aprendizagem, de inovação e de difusão dos novos conhecimentos tecnológicos em nível regional. Como consequência da queda dos preços agrícolas, os escassos investimentos em tecnologia dificultam ou mesmo impendem as regiões menos produtivas, em um ambiente cada vez mais competitivo, em sua inserção no comércio internacional. Esta situação estaria agravada naqueles países que dependem fortemente da produção agrícola e que possuem tanto regiões modernas quanto atrasadas.

O crescimento produtivo agrícola no âmbito regional e o progresso técnico, segundo as análises tradicionais³ e mesmo a corrente evolucionária da mudança tecnológica⁴, são vistos como parte de uma atividade passiva ao desenvolvimento de novos conhecimentos e tecnologias. A agricultura e o seu respectivo crescimento são entendidos, de um lado, por uma intensificação do uso de insumos tecnológicos (sementes, fertilizantes, defensivos, irrigação,

³ As referências tradicionais se referem aos trabalhos anteriores à abordagem evolucionária; porém, pioneiras no estudo da mudança técnica relacionada ao caso agrícola. Na sua grande maioria, tais estudos entendem a tecnologia como elemento poupador de fatores produtivos (terra e trabalho) bem como empregam o conceito de equilíbrio estável e o cálculo probabilístico dos resultados. Para uma investida nesta literatura, ver GRILICHES (1957), SCHULTZ (1964), PAIVA (1971), EVENSON & KISLEV (1973) e HAYAMI & RUTTAN (1988).

⁴ Já a corrente evolucionária é identificada pelo estudo seminal de NELSON & WINTER (1982), o qual inspirou uma série de modelos subseqüentes, como WINTER (1984), SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e CHIAROMONTE & DOSI (1992). Esta corrente retomou o debate acerca das inovações tecnológicas e incorporou, ao mesmo tempo, o paradigma evolucionário em suas análises, revisitando as idéias de *Joseph Alois Schumpeter* [SCHUMPETER (1928, 1944, 1946, 1947 e 1964)]. Na sua grande parte, estes estudos são aplicados ao setor industrial. Quando enfocados ao caso agrícola, reconhecem o segmento como sendo *dominado pelos fornecedores (supplier dominated)* a la PAVITT (1984). No que tange às referências que fazem menção à agricultura, pesquisar NELSON & WINTER (1977), SAHAL (1981a, 1981b e 1985), DOSI (1988), COHEN & LEVINTHAL (1989 e 1990), FOSTER & ROSENZWEIG (1995), MALERBA & ORSENIGO (1996), POSSAS, SALLES-FILHO & SILVEIRA (1996), RUTTAN (1997), BARDHAN & UDRY (1999), BRESCHI, MALERBA & ORSENIGO (2000), BUAINAIN, SOUZA FILHO & SILVEIRA (2002), ESPOSTI (2002), VIEIRA FILHO (2004), VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005), MOWERY & ROSENBERG (2005), SURİ (2006), ALVES (2007) e BUAINAIN (2007). Vale ressaltar que algumas destas referências são discordantes da opinião aqui apresentada, enquanto que outras são complementares.

implementos e máquinas agrícolas) e, de outro, por um segmento da economia receptor de tecnologia consolidada exogenamente (desenvolvida no setor industrial ou em pesquisa pública). Dessa maneira, o crescimento do produto agrícola está relacionado ao aumento do uso intensivo de fatores produtivos ou à variação não explicada da mudança tecnológica, na qual o pacote tecnológico é constante no período passado e no presente, sendo a eficiência produtiva maior neste último.

A mudança tecnológica na agricultura, mesmo no debate evolucionário do crescimento econômico, é considerada um neutrino⁵, já que propõe explicações razoáveis ao progresso técnico e não altera a base teórica clássica de análise. A definição do setor agrícola como sendo *dominado pelos fornecedores* é uma pressuposição muito restritiva, já que define a mudança tecnológica como residual. O aumento da eficiência produtiva, dado pela magnitude do resíduo, pode ser caracterizado, no decorrer do tempo, por meio de um processo de “empacotamento a vácuo”⁶, o qual conserva como fixo o estado da tecnologia.

Esta concepção – de “empacotamento a vácuo” – cria uma lacuna no pensamento evolucionista e deixa a explicação do comportamento agrícola próximo ao que foi feito no campo neoclássico, em que consideráveis esforços de pesquisa foram feitos para compreender as transformações tecnológicas por meio do instrumental analítico de curvas de produção. As mudanças tecnológicas seriam representadas por deslocamentos para cima da curva ou fronteira de produção. Segundo esta corrente da economia, quanto menor a elasticidade de substituição entre os fatores produtivos, menor seria o crescimento da produtividade relacionado à intensidade de capital e maior importância relativa se daria à mudança tecnológica.

Esta preocupação também está presente nas teorias de crescimento. Como a importância relativa da mudança tecnológica no crescimento do produto é

⁵ “The neutrino is a famous example in physics of a “labeling” of an error term that proved fruitful. Physicists ultimately found neutrinos, and the properties they turned out to have were consistent with preservation of the basic theory as amended by acknowledgement of the existence of neutrinos” (NELSON & WINTER, 1982: 198).

⁶ O conteúdo tecnológico (ou pacote) no período t e $t + 1$ é dado como constante, não estando relacionado ao processo de aprendizado e à dinâmica de transformação do setor agrícola.

significativa, no intuito de melhor caracterizar estes deslocamentos na fronteira produtiva, buscou-se aumentar as especificações da curva de produção com a inclusão de mais termos explicativos. Sob o enfoque da produtividade total dos fatores, a mudança tecnológica (ainda um resíduo) é função dos investimentos desejados no passado, os quais possuem a capacidade de deslocar a fronteira de produção⁷. Portanto, ao longo das diferentes formulações teóricas sobre o crescimento econômico (como nas teorias de crescimento endógeno de inspiração neoclássica)⁸, a mudança tecnológica é endógena e compatível com a combinação ótima e eficiente de fatores.

Diante do que foi inicialmente abordado, é possível fazer o seguinte questionamento: diferentemente do que é mostrado na literatura, qual seria a forma mais adequada de tratar o setor agrícola de produção como sendo dinâmico e propulsor de efeitos de transbordamentos?

A análise econômica da atividade agrícola relaciona-se com a natureza das tendências e evoluções das trajetórias tecnológicas, com o comportamento estratégico interno da unidade de produção à integração vertical da *cadeia produtiva regional*⁹ e com a seleção dos processos, através dos mercados ou das instituições, que envolvem parcerias e estratégias competitivas advindas das oportunidades tecnológicas. Sob esta análise, a compreensão do que afeta ou altera a mudança tecnológica é de suma importância para o entendimento do desenvolvimento e do crescimento econômico.

A mudança tecnológica na agricultura não pode ser analisada como uma explicação residual ou mesmo uma medida da ignorância¹⁰ do progresso

⁷ Neste ponto, os investimentos são dados por órgãos públicos de pesquisa e desenvolvimento ou por instituições privadas, sejam de extensão ou mesmo fornecedoras de insumos tecnológicos. Cabe ao produtor agrícola, neste caso, apenas aceitar o melhor e mais eficiente pacote tecnológico.

⁸ Para uma resenha destas teorias, ver AGHION & HOWITT (1999).

⁹ Este conceito foi definido por VIEIRA FILHO (2004) numa tentativa de estabelecer uma unidade de análise, a qual compreendesse não apenas a relação setorial e institucional, mas também a diversidade geográfica inerente ao caso agrícola.

¹⁰ Acerca do elevado valor residual, 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 (...)*”.

técnico. A relação do setor produtor agrícola com o setor fornecedor de insumos tecnológicos se dá mediante contratos, em que a idéia de custos de transação está presente e pode ser entendida como aqueles custos existentes no rompimento de uma relação contratual em sua totalidade¹¹. Vale ressaltar que, mesmo que parte do conhecimento tecnológico seja embarcada no caso agrícola, a sua dinâmica é constituída mediante o mecanismo de aprendizado dos agricultores e a verticalização da produção, significando uma maior cooperação entre os vários agentes inseridos no processo produtivo.

A importância do investimento no aumento da produtividade agrícola (produção por área plantada) pode ser vista por meio de uma perspectiva institucional. O mercado institucional possui uma relação na determinação dos investimentos, particularmente com os investimentos na produção de bens públicos¹². Cabe ao governo conceber e administrar instituições (sistemas legais, regulamentos e políticas de concorrência), incentivar a eficiência na produção privada (agrícola) e investir, quando necessário, na oferta de bens públicos. Os investimentos públicos na agricultura são essenciais para o desenvolvimento agrícola regional. Uma mera reforma institucional sem os investimentos nos bens públicos não produz o crescimento econômico do setor agrário.

Assim, no que tange ao desenvolvimento de regiões atrasadas e modernas, é preciso entender a lógica dos investimentos públicos no fomento dos investimentos privados, sejam nas indústrias fornecedoras ou na unidade

¹¹ A organização da produção agrícola se aproxima da idéia de ALCHIAN & DEMSETZ (1972), em que a firma é vista como um nexos de contratos, ou seja, uma relação de aquisição de insumos modernos e de prestação de serviços via contratos. A relação contratual entre as partes é renovada diante do retrospecto de retorno produtivo e do vencimento do prazo estipulado. FARINA, AZEVEDO & SAES (1997) fazem uma boa revisão teórica da nova economia institucional e da organização industrial, no que diz respeito às instituições, à concorrência e à regulação econômica. Além disso, o estudo desses autores apresenta uma aplicação empírica dos sistemas agroindustriais do café, do trigo e do leite.

¹² Segundo OLSON (1971, p.14), "(...) A common, collective, or public good is here defined as any good such that, if any person X_i in a group $X_1, ..., X_i, ..., X_n$ consumes it, it cannot feasibly be withheld from the others in that group. In other words, those who do not purchase or pay for any of the public or collective good cannot be excluded or kept from sharing in the consumption of the good, as they can where noncollective goods are concerned". No caso agrícola, os resultados da pesquisa pública não são privatizáveis. A descoberta de alguns mecanismos de gerenciamento de uma nova cultivar numa determinada região é apropriada, sem qualquer ônus financeiro, a todos os agricultores pertencentes àquele espaço geográfico, mesmo que, para tal descoberta, os dispêndios em pesquisa tenham sido elevados.

produtiva. Para promover o crescimento, não basta uma política passiva de funcionamento dos mercados, mas essencialmente programas de investimentos públicos em alguns segmentos da economia. O crescimento do setor agrícola requer, então, investimentos do setor público. O incremento da produtividade está relacionado à redução de algumas deficiências, as quais não são corrigidas pelo livre funcionamento do mercado. São registrados ganhos de produtividades naquelas regiões que promovem, via pesquisa pública, a adaptação de tecnologia e de conhecimento externo¹³.

Por fim, a forma mais adequada de tratamento do setor agrícola é compreender que nem todo o desenvolvimento tecnológico e a geração de novos conhecimentos estão cristalizados nos insumos produtivos. A agricultura não funciona por meio de agentes receptores passivos de tecnologias. A atividade agrícola é influenciada pelas trajetórias tecnológicas, as quais definem a adoção e os parâmetros da difusão das melhores técnicas e práticas, sendo estas induzidas por uma aglomeração (ou *cluster*) de inovações no interior da cadeia produtiva. Pode-se trabalhar com os desdobramentos, via contratos entre os vários segmentos constitutivos, da indução tecnológica à sua respectiva adoção e difusão.

Como **hipótese central** da presente tese, considerando a existência prévia de um arcabouço institucional promotor de conhecimento público e de oportunidades tecnológicas, a inovação tecnológica na agricultura depende da acumulação do conhecimento (tácito e específico), a qual está inserida num processo de aprendizado cumulativo no tempo que aumenta a produtividade e, paralelamente, reduz os custos de produção, dependendo da capacidade do produtor de interpretar e assimilar as novas informações.

De um lado, grande parte da pesquisa e desenvolvimento é determinada fora da porteira (órgãos públicos e instituições privadas, extensão agrícola e indústrias fornecedoras de insumos tecnológicos) e coordenada por um sistema

¹³ A absorção de conhecimento externo pelos órgãos públicos de pesquisa se condiciona, segundo ESPOSTI (2002), a três tipos de opções estratégicas: pesquisa ampla, adaptativa e de transferência direta, o que implica distintas formas de alocar recursos e explorar os efeitos de transbordamento do conhecimento gerado no exterior.

agro-industrial de inovação¹⁴, no qual o Estado desempenha importante função no provimento de tecnologias e conhecimento de domínio público. Por outro, os investimentos e as atividades de pesquisa e experimentação são exercidos dentro da unidade produtiva, gerando maior estoque de conhecimento e ampla capacidade de absorção de tecnologia, além de estimular a apropriação privada dos ganhos produtivos. Desta forma, os investimentos na capacidade gerencial (*dynamic capabilities*)¹⁵ dos agricultores possibilitam um melhor aproveitamento do conhecimento externo.

As correlações entre o crescimento da produtividade total dos fatores e o capital tecnológico (expresso em conhecimentos e inovações de produto e de processo) podem mostrar as causas do crescimento da produtividade. Com a revolução agrícola moderna, os rendimentos agrícolas de diversas regiões cresceram substancialmente. Porém, as reduções de custos produtivos determinadas pelo progresso tecnológico beneficiaram somente a agricultura dinâmica, já que esta foi capaz de realizar os investimentos necessários à adequada adoção e difusão tecnológica do conhecimento. O capital tecnológico é um dos fatores essenciais ao incremento da produtividade; sua acumulação depende das estratégias individuais de investimento dos agentes e da capacidade, em âmbito regional, de adaptar conhecimento e tecnologia. Nesse sentido, existe uma complexa relação entre os agentes produtivos e as várias instituições (públicas e privadas) ao longo da *cadeia produtiva regional*.

Como objetivo geral do estudo, procura-se avaliar no contexto agrícola o papel dual do investimento na inovação tecnológica e no aumento da capacidade de absorção de novos conhecimentos, sob a perspectiva evolucionária. Especificamente, pretende-se:

- i. analisar a trajetória tecnológica ampla estabelecida na agricultura;

¹⁴ O ponto aqui é similar ao conceito original de “Sistemas Nacionais de Inovação”, discutido por LUNDVALL (1988 e 1992).

¹⁵ No que se refere à perspectiva das viabilidades dinâmicas, a questão fundamental no campo do gerenciamento estratégico é como as unidades produtivas alcançam e sustentam a vantagem competitiva ao longo do tempo. Para uma melhor compreensão das capacidades dinâmicas e do gerenciamento estratégico, ver TEECE, PISANO & SHUEN (1997).

- ii. identificar o processo de adoção tecnológica como condicionante dos parâmetros da difusão;
- iii. construir um modelo evolucionário representativo do comportamento agrícola, baseado numa função de estoque de conhecimentos que depende da capacidade de absorção dos agentes e das oportunidades tecnológicas, dos efeitos de transbordamentos dos investimentos dos demais agentes e do conhecimento externo; e
- iv. avaliar os resultados das simulações de diferentes cenários, numa perspectiva dinâmica, para o comportamento da agricultura: produtividade, custos, estoque de conhecimento e lucratividade.

Para tanto, três capítulos são apresentados, além desta breve introdução, que procurou definir o problema, a hipótese central e os objetivos (geral e específicos) do trabalho. O capítulo 1 expõe o marco teórico, o qual inclui a abordagem evolucionária do crescimento econômico, a apresentação da modelagem matemática da dinâmica industrial, o processo de aprendizado, a capacidade de absorção e a interdependência dos agentes produtivos. O capítulo 2 busca contextualizar o debate acerca da mudança tecnológica na agricultura, elaborando uma revisão crítica da literatura e expondo a trajetória ampla da tecnologia e o aprendizado localizado. O capítulo 3 apresenta, além do método de análise e da discussão dos resultados, dois temas de extrema importância para o entendimento da dinâmica agrícola: a competição *schumpeteriana* e a capacidade de absorção de conhecimentos externos. Por fim, seguem-se as principais conclusões da aplicação do modelo evolucionário de aprendizado e suas interações com as questões da especialização setorial e regional.

1. MARCO TEÓRICO

O capítulo 1 está subdividido em três seções. A primeira recapitula os fundamentos da abordagem evolucionária. A inovação tecnológica é definida dentro de um ambiente dinâmico e instável de competição entre os agentes, sendo a busca pela melhor e mais adaptada inovação associada a um mecanismo seletivo de mercado. A segunda seção apresenta a evolução da modelagem industrial, analisando a competição, os regimes tecnológicos, a difusão, a trajetória e as mudanças paradigmáticas. Por fim, tem-se o estudo do aprendizado e da acumulação de conhecimento dentro das organizações.

1.1. Fundamentos da abordagem evolucionária

A abordagem evolucionária¹⁶ do crescimento econômico surge como forma alternativa de estudar o processo de mudança tecnológica (até então estático e exógeno) por meio de uma análise dinâmica¹⁷, em que a acumulação de capital não se dá apenas por acréscimos residuais de eficiência produtiva ao longo do tempo. Tal alternativa teórica buscou reiterar a importância do progresso técnico como fonte principal do crescimento econômico bem como propor melhor base explicativa aos fenômenos relacionados à mudança tecnológica.

Em artigo intitulado “*A contribution to the theory of economic growth*”, SOLOW (1956) estabeleceu as bases para uma discussão teórica do desenvolvimento econômico por meio de um modelo de crescimento. Todavia, tal formalização do pensamento entendia a mudança tecnológica como um resíduo,

¹⁶ Para uma revisão histórica do pensamento evolucionário e dos principais conceitos, confira NELSON & WINTER (1982, cap.1 e 2), FORAY (1989), LANGLOIS & EVERETT (1994), MAIWALD (1998), CERQUEIRA (2000) e DOPFER (2005).

¹⁷ Dinâmica não significa meramente a indexação do tempo (*time-indexed*), como o termo é usado na literatura de equilíbrio intertemporal. Conforme LANE (1993a e 1993b), um modelo que simula a realidade dinâmica especifica leis de transição que governam como o estado da natureza no tempo t se transforma no estado no tempo $t+1$. Diferentemente da teoria de expectativas racionais, estas leis não são função do estado futuro da natureza.

já que os ganhos produtivos eram determinados pelo uso intensivo de fatores ou por um deslocamento da curva de produção. No ano seguinte, SOLOW (1957) elaborou trabalho empírico *“Technical change and the aggregate production function”*, explicando de que maneira a poupança, o crescimento demográfico e o progresso tecnológico afetavam o aumento do produto. Uma de suas principais conclusões identificou a importância relativa da mudança tecnológica no crescimento do produto em mais de 87%¹⁸.

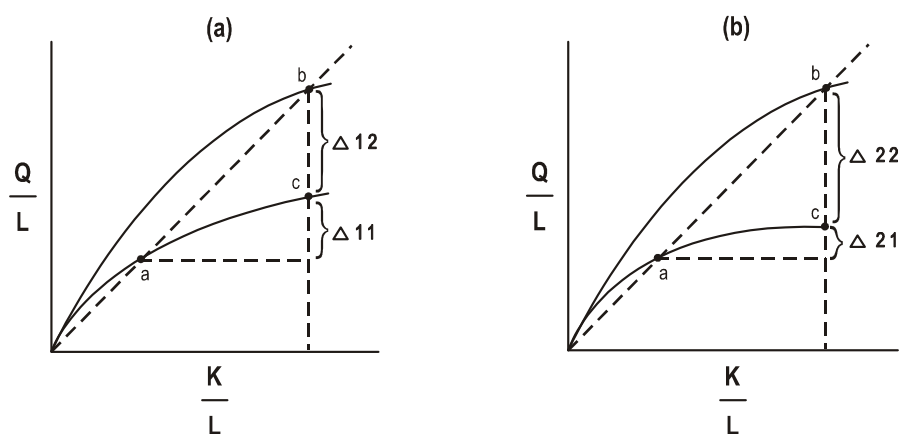


FIGURA 1 – Curva ou fronteira de produção e interpretações sobre o crescimento da produtividade.

Fonte: Adaptado de NELSON & WINTER (1982, p.200).

De acordo com o FIG.1, deslocamentos para cima na curva ou fronteira de produção representariam mudanças tecnológicas. No caso da figura (a), mantido o trabalho constante, o produto teria crescido na magnitude de $\Delta 11$ (entre

¹⁸ Em termos pragmáticos, há problemas quanto a esta interpretação matemática. Supondo que a função de produção seja descrita por $y = AK^\alpha L^\beta$ (onde y é o produto, K o capital, L o trabalho e A o estado da tecnologia), o crescimento percentual de y será igual ao somatório percentual do crescimento de A , α percentual do crescimento de K e β percentual do crescimento de L . Embora a formulação confirme que o crescimento em A mensura a total contribuição da mudança tecnológica no crescimento do produto, é fácil perceber que os melhoramentos tecnológicos elevam não apenas a produtividade do capital como também induzem investimentos adicionais (novos insumos requeridos e treinamentos, por exemplo). Neste caso, diferentemente da função de produção, a formação de capital, além de facilitar o crescimento, não deve ser considerada independente do produto. Se a mudança tecnológica é a variável que explica em sua maior parte as variações no produto, a produtividade do capital não pode ser considerada como um resíduo, mas sim determinada de forma endógena, pois depende das discussões de gasto em inovação em qualquer modelo de crescimento.

a e c), caso o capital aumentasse. Porém, a função de produção não seria alterada. O aumento do produto por trabalhador não explicado pelo crescimento da taxa capital-trabalho é dado por $\Delta 12$, relacionado à mudança tecnológica (do ponto a ao b). Na figura (b), $\Delta 21$ pode ser atribuído ao crescimento do capital por trabalhador e $\Delta 22$ às transformações tecnológicas. Quanto mais difícil for a substituição de um fator produtivo pelo outro (ou seja, menor a elasticidade de substituição técnica), menor é o crescimento da produtividade relacionado à intensidade de capital e maior será a importância relativa dada à mudança tecnológica.

Deste então, inúmeros estudos empíricos¹⁹ apontaram para a significativa relevância do progresso técnico no tocante ao crescimento produtivo e tentaram, em certa medida, destacar o papel do aprendizado e do conhecimento cumulativo na explicação residual. MANKIW, ROMER & WEIL (1992), por exemplo, avaliaram as implicações do modelo de crescimento de *Solow* e concluíram que, mesmo com níveis de disparidade internacional de renda *per capita* e taxas de crescimento, os resultados eram consistentes com a evidência empírica, ao incorporarem a ideia do capital humano como um fator cumulativo. Já GROSSMAN & HELPMAN (1994) atentaram para o investimento em conhecimento na busca de lucros como sendo fundamental para o crescimento de longo prazo. No intuito de incluir aspectos mais explicativos ao progresso técnico, procurou-se entender de que forma as economias investem em conhecimento.

A teoria neoclássica do crescimento endógeno incluiu o capital humano e os investimentos em educação numa tentativa de melhor explicar o progresso tecnológico; entretanto, não se alteraram os pressupostos teóricos de análise, os quais eram baseados no equilíbrio estável e na racionalidade substantiva (maximizadora). Primeiramente, as firmas convergem para um equilíbrio produtivo, condizente com a estabilidade do padrão tecnológico. Em segundo, não existem limitações de ordem econômica ou mesmo de coleta e processamento de

¹⁹ Cf. DENISON (1964), JORGENSON & GRILICHES (1967), MANKIW, ROMER & WEIL (1992) e GROSSMAN & HELPMAN (1994).

informações por parte dos agentes, o que reduz o grau de incerteza a um nível probabilístico aceitável.

Como crítica às premissas acima²⁰, nada assegura que a firma encontrará um ponto de equilíbrio produtivo. As decisões produtivas desejadas nem sempre são iguais às efetivas. Uma alteração na parcela de mercado de uma firma, por exemplo, cria uma reação na estratégia produtiva das demais concorrentes. O conjunto das decisões das firmas frente às mudanças estruturais de mercado se insere numa competição de buscas tecnológicas, nem sempre estáveis, e em um processo de ajustamento das estratégias, fundamentado num grau elevado de incerteza, o que normalmente conduz a economia para um ponto fora do equilíbrio.

O desequilíbrio é um fenômeno comum dentro da abordagem evolucionária, a qual se funda em dois pilares centrais. O primeiro está relacionado a uma força interna propulsora de comportamentos diferenciados entre os agentes, e o segundo a um mecanismo seletivo da diversidade comportamental que define propriedades emergentes da mudança tecnológica e do crescimento econômico. A concorrência²¹ entre as firmas caracteriza-se pela busca permanente de diferenciação de produto no sentido amplo (novos produtos e processos, mudança na organização produtiva, desenvolvimento de tecnologias, novos mercados e arranjos institucionais) por meio de estratégias individuais, tendo em vista a obtenção de vantagens competitivas que proporcionem lucros de monopólio²².

Como explicado por IWAI (1981a e 1981b), a diversidade entre os agentes pode ser resultado da mudança tecnológica. Tal autor apresenta um modelo de adoção (inovação) e difusão (imitação) tecnológica que explica a diversidade entre as firmas, no longo prazo, dentro de um processo de seleção. A imitação constitui uma força de equilíbrio (não uniforme, mas logística) do estado

²⁰ Para um debate acerca de elementos críticos ao equilíbrio estável e à racionalidade substantiva, ver METCALFE (2002, cap.1) e POSSAS (2002).

²¹ Conhecida por concorrência *schumpeteriana*, já que revisita as idéias de SCHUMPETER (1946 e 1947; cap. 6, 7 e 8).

²² Cf. IWAI (1981a e 1981b); NELSON & WINTER (1982); DOSI (1984); SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e METCALFE (2002).

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. A evolução da indústria, através de um determinado estado da tecnologia, é governada por uma iteração dinâmica entre a força de equilíbrio e contínua da imitação e a força desequilibrada e descontínua da inovação.

Na mesma linha de pensamento, para SILVERBERG, DOSI & 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 & ROSENBERG (2005), as tecnologias se desenvolvem relativamente ao longo de caminhos (ou trajetórias) moldados nas propriedades técnicas específicas, na busca por 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.

De acordo com MALERBA & ORSENIGO (1995) e BRESCHI, MALERBA & ORSENIGO (2000), a tecnologia está relacionada ao regime tecnológico²³, que define os padrões inovativos segundo as condições de oportunidade (*opportunity*), de apropriabilidade (*appropriability*), de cumulatividade (*cumulativeness*) e das propriedades ligadas à natureza e à transmissão do conhecimento.

²³ A noção de regime tecnológico está relacionada aos conceitos de paradigmas e trajetórias tecnológicas. Estes últimos procuram captar a idéia de que as tecnologias diferem entre si por meio de um desenvolvimento baseado numa lógica interna forte e autônoma.

As oportunidades tecnológicas estão associadas ao potencial inovativo de cada tecnologia e aumentam conforme o crescimento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Em geral, a probabilidade de inovar é crescente com o nível de oportunidades tecnológicas. Em certos casos, um nível elevado de oportunidades tecnológicas está associado a uma grande variedade de métodos e soluções técnicas. Quando o grau de oportunidades tecnológicas é elevado, os novos conhecimentos, ligados às inovações, podem ser utilizados em vários processos de produção ou mesmo em diferentes mercados.

A apropriabilidade se relaciona ao grau de proteção das inovações contra as imitações. Este grau de proteção pode ser exemplificado pelos direitos de propriedade, controle de ativos complementares, segredos industriais e patentes. Quanto maior for a apropriação do conhecimento, maior será a proteção do saber e, conseqüentemente, menor a sua difusão tecnológica. Em outras palavras, supondo que o grau de apropriação das inovações seja elevado, as firmas inovadoras têm a possibilidade de se proteger eficazmente das imitações e exploram de forma sustentável as vantagens econômicas ligadas às inovações. Caso contrário, se o ambiente tecnológico é caracterizado por um nível elevado de efeitos de transbordamentos (*spillovers*) ou externalidades positivas, o processo de imitação será favorecido. Portanto, as condições de apropriação das inovações determinam as possibilidades de retenção privada do conhecimento e, assim, podem garantir lucros aos agentes inovadores.

A cumulatividade pode ser entendida pelas inovações seqüenciais com melhoramentos graduais, ou seja, a capacidade de inovar com base em inovações passadas e áreas correlatas. Uma inovação cria uma margem de inovações subseqüentes, as quais são melhoramentos incrementais no conhecimento original, ou as quais geram conhecimentos que serão utilizados em outros campos do saber. O caráter cumulativo do processo de inovação determina o impacto das inovações sobre o potencial das futuras inovações. Ao se pensar num processo inovativo fortemente cumulativo, as firmas que obtiverem sucesso inovativo no período corrente possuirão uma probabilidade de inovar mais elevada no período futuro, quando comparadas às outras mal sucedidas. O processo de inovação

cumulativo se associa àqueles ambientes tecnológicos representados por rendimentos crescentes das atividades de pesquisa.

Por fim, no que se refere às propriedades da base do conhecimento, é possível distinguir duas características essenciais: a natureza e a transmissão do conhecimento. Na primeira, referente à natureza, o conhecimento tecnológico é definido pelo seu grau de especificidade, de codificação e de complexidade. O conhecimento é dito específico na medida em que é codificado e voltado às aplicações industriais. No outro extremo, o conhecimento é amplo e generalizado, podendo ser aplicado em diferentes domínios e utilizado como tema de pesquisa científica. A segunda característica está acoplada ao modo de transmissão do conhecimento. Os conhecimentos codificados e simples (sem barreiras ao processamento) podem ser facilmente transmitidos por meio de publicações, patentes ou mesmo licenças. Caso contrário, o caráter tácito (*tacitness*) do conhecimento, que não é público, pode dificultar a difusão da técnica entre os agentes.

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 firmas²⁴. O conhecimento tecnológico é gerado por firmas ou instituições estabelecidas no mercado. Enquanto que algumas são especializadas no desenvolvimento da ciência básica, a qual corresponde aos conhecimentos fundamentais para a compreensão de fenômenos naturais, outras priorizam na criação de conhecimentos específicos, ou aplicados a certos usos e problemas industriais [STOKES (2005) e 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)²⁵.

²⁴ “(...) 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: 150).

²⁵ 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

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).

Sob condições de incerteza e complexidade das decisões dos agentes, deve-se focar o conceito de racionalidade limitada (*bounded rationality*), uma vez que é o contraste entre a complexidade ambiental juntamente com as limitações dos agentes que restringem a possibilidade de cálculo maximizador. A limitação decorre da complexidade do ambiente que envolve as decisões dos agentes, que não conseguem atingir a racionalidade plena. De acordo com SIMON (1979 e 1987), os agentes são assumidos racionais; porém, limitados com relação à capacidade de processamento das informações. É praticamente impossível operar por meio de estratégias ótimas, dada a magnitude dos custos econômicos de coleta e processamento das informações, sem levar em conta o tempo que seria gasto para a realização de tais tarefas. A racionalidade limitada pode favorecer a emergência de desequilíbrios. Todavia, tal conceito não é suficiente nem mesmo condição necessária para que os desequilíbrios ocorram²⁶.

entendimento mais amplo do conhecimento biológico e do uso aplicado às condições de saúde pública.

²⁶ Em BAUMOL & WOLFF (1995), tem-se a elaboração de um modelo que ilustra a causalidade entre a racionalidade imperfeita e o surgimento dos desequilíbrios. A complexidade dos processos econômicos é tão elevada que o modelo não permite uma análise desta causalidade. De acordo com a taxonomia das estratégias de negócio de TIROLE (1988), mesmo sob um enfoque de teoria dos jogos, a concorrência entre as empresas determina diferentes resultados, que incluem distintas estratégias (*Top dog*, *Puppy dog*, *Lean and hungry* e *Fat cat*). Em cada uma das possíveis estratégias, a empresa decide, dependendo do seu tamanho, investir de forma mais ou menos agressiva, no intuito de bloquear, acomodar ou mesmo desencorajar a entrada de novos competidores. Mesmo num contexto de equilíbrio de mercado, o modelo de ERICSON & PAKES (1995), embora trabalhe com a hipótese de expectativas racionais, mostra a diversidade dos agentes. Apresenta-se a evolução da estrutura industrial ligada aos resultados das atividades de pesquisas das firmas e às interações concorrenciais entre as firmas estabelecidas e entrantes. A evolução das estruturas industriais é probabilística e converge para uma distribuição estacionária.

O conceito de racionalidade limitada leva em consideração que os agentes possuem capacidades cognitivas restringidas. Entretanto, o mesmo não explica como os agentes tomam suas decisões em um ambiente de incertezas. Nesse sentido, em oposição ao conceito de racionalidade substantiva (*substantive rationality*), SIMON (1979 e 1987) desenvolveu a idéia de racionalidade processual (*procedural rationality*)²⁷. Num ambiente de incertezas, a racionalidade processual leva os agentes a decompor o problema em formas secundárias de análise da complexidade. A decomposição permite uma melhor compreensão do ambiente decisório, o qual está baseado numa pesquisa de informações com distintas alternativas de respostas ao problema. Os agentes não possuem a capacidade de efetuar uma escolha ótima e, desta forma, buscam uma regra que promova um resultado satisfatório. Em muitos casos, esta busca pela escolha satisfatória é traduzida por regras de decisão que determinam um nível de satisfação dos agentes (regras do tipo *satisficing*). Já o conceito de racionalidade substantiva²⁸, utilizado na teoria ortodoxa, está ligado à idéia de que as decisões dos agentes se baseiam num processo de maximização condicionada de uma função objetivo.

Ao entender a tecnologia como uma série de pedaços do conhecimento (teórico e prático), pode-se determinar o que vem a ser o paradigma científico e o

O caráter ergódico da dinâmica industrial permite a definição de um equilíbrio perfeito de *Nash* na cadeia de *Markov*, que se baseia na antecipação dos eventos futuros. Assim, os agentes otimizam os rendimentos esperados futuros de forma independente dos eventos passados, o que não ocorre com os modelos evolucionários que geram uma dinâmica baseada nas experiências passadas. Como observado por OLTRA (1997), a dinâmica industrial dos modelos evolucionários tem um caráter cumulativo e de caminhos de dependência, o que se opõe ao modelo destes últimos autores. Ademais, nos modelos evolucionários, dado as hipóteses de comportamento, os agentes não são capazes de determinar as probabilidades de transição do sistema e, conseqüentemente, não podem calcular a função de distribuição estacionária. É, por este motivo, que os modelos evolucionários procuram estudar as propriedades da evolução das trajetórias, ao contrário de focarem na convergência do sistema diante de um equilíbrio estável.

²⁷ Segundo Iwai (1981a; p.3), "(...) *This notion of rationality should, however, be distinguished from the very limited notion of rationality used in the orthodox theory. While the latter identifies rational behaviors as the optimization of a well-specified objective function over a sharply defined set of alternative actions whose outcomes are (at least probabilistically) fully anticipated, the former assumes a much broader position which takes due account of the limits of human capacities to comprehend and compute in the face of uncertain environment and complex cognitive process. It is, in other words, equivalent to what Herbert Simon called the procedural rationality or bounded rationality*".

²⁸ A hipótese de racionalidade substantiva é extremamente criticada por não se adaptar em situações em que os agentes se defrontam com novos problemas. O surgimento das inovações está geralmente associado a um grau de incerteza radical, o que impossibilita um cálculo de otimização dos ganhos esperados e da mensuração das utilidades.

progresso técnico. O paradigma científico determina o campo dos questionamentos, dos problemas, dos processos e das tarefas, ou melhor, a tecnologia em si. O progresso técnico é definido por certo paradigma tecnológico. As trajetórias tecnológicas são definidas como soluções padronizadas das atividades produtivas no campo do paradigma tecnológico, o qual pode ser aqui entendido por um programa de pesquisa. Uma forma geral paradigmática do conhecimento tecnológico, segundo DOSI (1984 e 1988), é a de que as atividades inovadoras são fortemente seletivas, finalizadas em direções precisas e cumulativas nas capacidades de solucionar problemas.

Mediante o analisado, os regimes tecnológicos são determinados em função de quatro fatores que representam os padrões inovativos: as oportunidades tecnológicas, as condições de apropriação das inovações, o caráter cumulativo do processo de inovação e as propriedades da base do conhecimento. As características dos padrões inovativos não se alteram entre as regiões; porém, diferem-se significativamente entre os setores industriais. Dois regimes tecnológicos são apontados por WINTER (1984): (i) o Schumpeter I classificado como empreendedor (*entrepreneurial*); e (ii) o do tipo Schumpeter II como rotineiro (*routinier*). Esta distinção permite estabelecer uma diferenciação dos setores industriais por meio dos seus respectivos padrões inovativos, seja em função das características tecnológicas ou mesmo do processo de inovação.

Por meio de um estudo estatístico e econométrico, MALERBA & ORSENIGO (1996) e BRESCHI, MALERBA & ORSENIGO (2000) estudaram as diferenças entre os padrões de indústrias inovadoras. O primeiro regime caracteriza-se por um padrão de destruição criadora (*creative destruction*) onde as inovações são introduzidas por organizações que nunca inovaram. O padrão inovativo industrial deste regime, também chamado de amplo (*widening*), comporta-se como sendo não concentrado, o que é um resultado da maior competição via entrada e saída de firmas. O maior fluxo competitivo proporciona uma maior instabilidade hierárquica das firmas inovadoras bem como uma maior utilização de mecanismos de apropriação tecnológica como, por exemplo, um maior uso de patentes. O segundo regime é caracterizado por um padrão de

acumulação criadora (*creative accumulation*) onde as inovações são introduzidas por firmas que já inovaram anteriormente. Determinado como profundo (*deepening*), tal regime, ao contrário do primeiro, tem como característica a concentração industrial, o que cria uma maior estabilidade hierárquica entre as firmas inovadoras e um menor uso de patentes. Este segundo padrão, conseqüentemente, possui elevadas barreiras à entrada.

Assim, é possível explicar, em termos gerais, a continuidade ou descontinuidade da mudança tecnológica. Enquanto que a inovação incremental (associada ao regime Schumpeter II) faz parte de um progresso técnico normal, a inovação radical (Schumpeter I) está na emergência de um novo paradigma tecnológico. O modelo de CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993) ilustra bem o impacto da diversidade dos comportamentos e das competências sobre a taxa de inovação. Tem-se um modelo de dois setores em que as inovações se traduzem por aperfeiçoamentos, radicais e/ou incrementais, de produtos ou processos na produção. Então, a busca por novos produtos e processos não pode ser considerada aleatória como um todo, já que os paradigmas apresentam os caminhos bem delineados. A idéia de paradigmas e trajetórias pode ser um fenômeno observável passível de acumulação e de avanços tecnológicos e, neste caso, o progresso técnico deve ser definido por um caminho tecnológico (DOSI; 1982, 1984 e 1988).

Assim sendo, a multiplicidade de competências e de conhecimentos favorece aos processos de aprendizado e de exploração das potencialidades tecnológicas disponíveis no mercado. A diversidade entre as firmas, ou mesmo dentro de uma indústria, pode ser classificada em três categorias. A primeira se relaciona às diferenças em termos de competências individuais. Os atrasos tecnológicos, por sua vez, estão relacionados aos distintos níveis de sucesso na adoção, ou no uso efetivo de um novo produto ou processo, bem como nos custos relativos de produção. A segunda diz respeito às variadas formas de buscas, que podem ser por processos, combinações mais eficientes de insumos e novos produtos (mesmo que os custos sejam similares). Por fim, a terceira categoria refere-se à diversidade do comportamento industrial, representado por diferentes

estratégias individuais na composição do investimento, do sucateamento técnico, da definição de preço e da pesquisa e desenvolvimento.

A distinção entre aprendizagem interna e externa permite elaborar uma tipologia do processo de aprendizado. A aprendizagem interna se associa às capacidades gerenciais das firmas em realizar as atividades de pesquisa bem como promover o desenvolvimento de conhecimentos básicos. No caso da externa, baseia-se na absorção e exploração de conhecimentos provenientes de fontes externas. O modelo econométrico desenvolvido por COHEN & LEVINTHAL (1989 e 1990) permite uma explicação dos mecanismos que guiam a acumulação de conhecimentos e os processos do aprendizado externo. Segundo um instrumental evolucionário, LLERENA & OLTRA (2002) concluem que as estratégias de busca (interna e externa) do aprendizado conduzem às assimetrias tanto na estrutura de mercado quanto no desempenho tecnológico.

As decisões econômicas que envolvem a produção presente buscam realizar, através de estratégias inovadoras, investimentos no aumento da capacidade produtiva futura. Entretanto, nem sempre o investimento realizado condiz com o esperado ou desejado, já que as decisões empresariais ocorrem sob incerteza. Vale destacar, de um lado, a impossibilidade prática de manter o pleno conhecimento acerca de todas as alternativas decisórias e, de outro, o caráter imperfeito da antecipação de eventos futuros (por exemplo, crescimento da demanda, surgimento de novas tecnologias, entrada de novos concorrentes, etc.). A dependência em relação das tomadas de decisões do presente por meio de resultados futuros promove ainda mais o grau de incerteza.

A permanência da firma em um ambiente concorrencial (sem que haja perdas de parcelas de mercado) está correlacionada à sua respectiva capacidade de aprendizado. Quanto maior for o estoque de conhecimento e as competências gerenciais, mais bem sucedida será a estratégia da firma em aumentar lucro sem perdas de mercado. Contudo, as firmas podem ocorrer em erros sistemáticos, que decorrem do fato das decisões empresariais estarem num ambiente de incerteza elevado. Há tanto a incerteza decorrente da ausência de informações (*substantive*

uncertainty), quanto as limitações do mecanismo de aprendizado dos agentes (*procedural uncertainty*) (DOSI & EGIDI, 1991)²⁹.

Quanto ao processo de decisão racional dos agentes, a limitação da racionalidade permite conciliar a lógica da racionalidade instrumental com a questão da incerteza forte. Em resposta ao grau de incertezas, os agentes são levados a adotar rotinas e regras estáveis de decisão, no intuito de orientar as suas ações. As rotinas são representadas por processos relativamente automatizados, cuja utilização tem a capacidade de simplificar as decisões, reduzindo o número de variáveis em questão bem como o custo de processamento, cálculo e gerenciamento das decisões.

Como apresentado por OLTRA (1997), os modelos evolucionários de dinâmica industrial são baseados em regras de decisões adaptativas, sendo estas uma consequência da racionalidade processual dos agentes. As hipóteses de comportamento introduzidas nesses modelos atribuem um papel importante às experiências passadas e ao caráter adaptativo do processo decisório, além de levar em conta a heterogeneidade dos agentes e a capacidade limitada de antecipação e de aprendizado.

As regras de decisões podem se diferir entre os agentes, que não têm a capacidade de previsão e, normalmente, conduzem suas escolhas a resultados sub-ótimos. Dado que o contexto das interações e a intensidade das atividades de pesquisas são não uniformes, uma mesma regra de decisão pode levar a resultados distintos. Por meio de um processo adaptativo, os agentes corrigem suas decisões em função de suas performances e de suas experiências passadas. Desta maneira, as decisões estão definidas no tempo e num contexto histórico, e não em termos da antecipação dos resultados. O processo decisório é, portanto, cumulativo e com dependências de caminho.

²⁹ A racionalidade processual é aquela que se tem (ou se deve ter) numa situação de incerteza processual; porém, a racionalidade substantiva (igual à racionalidade neoclássica, maximizadora de utilidade) não é, necessariamente, a racionalidade própria de uma situação de incerteza substantiva. Conforme DOSI & EGIDI (1991), a incerteza substantiva não se restringe à incerteza do tipo neoclássica, podendo incorporar tanto a incerteza fraca (associada a uma função de distribuição de probabilidade) quanto a incerteza forte. Para DEQUECH (2006), numa tentativa de diferenciar tipos de racionalidade e de incerteza, o ambiente de incerteza substantiva pode ser denominado de “incerteza fundamental”, termo que distingue a incerteza substantiva da racionalidade neoclássica.

Para explicar o paradigma evolucionário, de uma maneira mais sistematizada, NELSON & WINTER (1982) introduz as noções de busca (*search*) por inovações, a partir das estratégias empresariais, e de seleção (*selection*) destas mesmas inovações, pelo ambiente de mercado. As firmas competem no intuito de permanecerem e crescerem no mercado. As inovações geram o crescimento e as imitações permitem que firmas continuem no ambiente de competição. Aquelas que falham na busca por inovações ou imitações são excluídas do negócio e, na melhor das situações, perdem a oportunidade de crescer em relação aos demais competidores³⁰.

A busca tecnológica tem por objetivo a introdução de inovações, as quais podem alterar as rotinas operacionais, as técnicas e os processos produtivos. Esta mudança tecnológica visa a obtenção de vantagens competitivas. A dinâmica competitiva dos mercados pode ser estabelecida pela introdução das inovações, pela difusão das novas técnicas via imitação e por processos de aprendizados (imperfeitos na sua maioria). Diante de uma pressão estabelecida pela dinâmica de competição, as firmas são marcadas pela diversidade, seja em termos de estratégia, de competência ou mesmo de base tecnológica. A diferenciação entre as mesmas altera não apenas a lucratividade como também as participações relativas de mercado.

A seleção constitui um mecanismo que opera na escolha das buscas bem sucedidas, as quais obtiveram os resultados esperados. As melhores técnicas e práticas podem ser selecionadas bem como as piores eliminadas, seja por obsolescência tecnológica ou por estratégias não condizentes com aumento da lucratividade e da parcela de mercado. O mecanismo de seleção atua diante de

³⁰ A idéia de que a competição de mercado é análoga à competição biológica e que os negócios das firmas devem passar por um teste de sobrevivência imposto pelo mercado tem sido parte do debate da concepção evolutiva da economia. Contudo, a primeira contribuição mais firme do ponto evolucionário remonta o artigo de ALCHIAN (1950), intitulado "*Uncertainty, evolution and economic theory*". Embora o uso de analogias biológicas tenha sido bastante significativo na economia, PENROSE (1952, p.819) critica o excesso destes exemplos, concluindo que "(...) *Even as a metaphor it is badly chosen although in principle metaphorical illustrations are legitimate and useful. But in seeking the fundamental explanations of economic and social phenomena in human affairs the economist, and the social scientist in general, would be well advised to attack his problems directly and in their own terms rather than indirectly by imposing sweeping biological models upon them*".

uma unidade de análise, onde se avaliam as variáveis que definem o grau competitivo e a aptidão (*fitness*) empresarial. Normalmente, a firma é definida como unidade de seleção nos modelos evolucionários, os quais procuram a compreensão da dinâmica industrial. As habilidades gerenciais, escolhidas em última instância, são mensuradas por vários critérios, dentre os quais se destacam, por exemplo, a qualidade do produto, o preço, o atraso de entrega, os serviços de pós-vendas, entre outros. O mercado fará uma seleção dos critérios melhores avaliados e bem sucedidos, garantindo, desta maneira, a eficiência das empresas mais aptas por uma busca de lucros extraordinários.

Nem sempre a firma é a unidade de seleção. No trabalho de VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005), a unidade selecionada foi definida como sendo a *cadeia produtiva regional*, já que o foco do estudo contemplava uma análise da concentração regional da produção agrícola, sendo tal produção relacionada às indústrias fornecedoras, às instituições de pesquisa e à unidade produtiva (no caso, as fazendas)³¹. De acordo com ESSLETZBICHLER & RIGBY (2007), a variável regional é elemento fundamental para inserir o debate evolucionário numa perspectiva da geografia econômica.

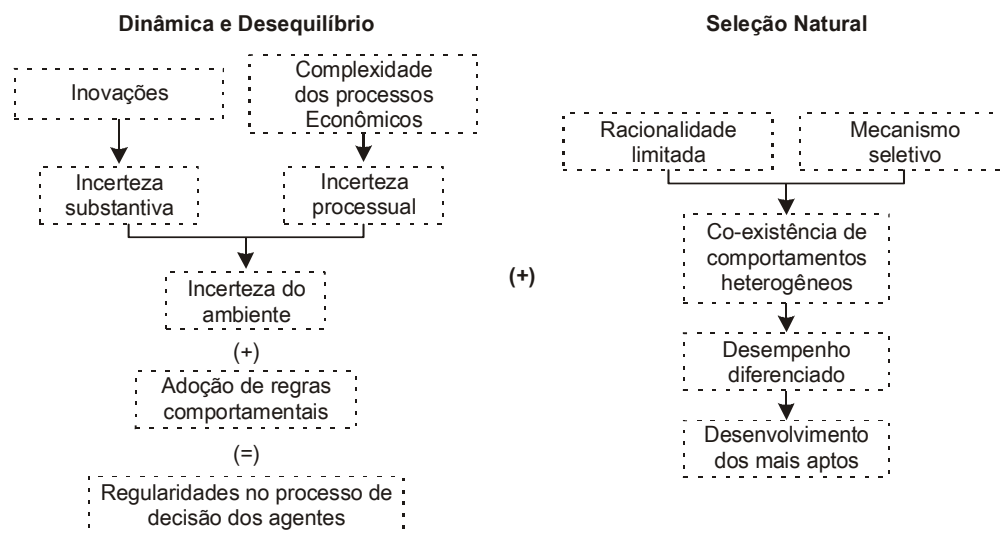


FIGURA 2 – Paradigma evolucionário como a união de um processo dinâmico e em desequilíbrio com a seleção natural
Fonte: VIEIRA FILHO (2004).

³¹ Em PONDE (2000, seção 2.1.2), tem-se uma análise do problema da identificação da unidade de seleção.

O paradigma evolucionário é, por assim dizer, a união de um processo dinâmico e em desequilíbrio com um mecanismo seletivo de mercado (ver FIG.2). A busca por inovações (conjunto de conhecimento tácito e codificado) somada à complexidade dos processos econômicos proporciona um ambiente de elevada incerteza. Além disso, as firmas e os setores industriais são caracterizados por distintos regimes tecnológicos. Uma questão que corrobora com a redução das incertezas processuais e substantivas é o estabelecimento de contratos e regras comportamentais. A minimização do ambiente de incertezas, juntamente com a racionalidade limitada, é que cria uma regularidade nos comportamentos dos agentes. Tal regularidade, advinda de um ambiente de desequilíbrio e associada ao mecanismo seletivo, é que determina a co-existência de comportamentos heterogêneos e o desenvolvimento dos mais aptos.

1.2. Modelagem evolucionária da dinâmica industrial

O objetivo dessa seção visa apresentar o modelo seminal de NELSON & WINTER (1982, cap.12) conjuntamente com os principais avanços e desdobramentos subseqüentes realizados pelos modelos de WINTER (1984); SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993). A escolha desses modelos se justifica em razão de sua significância teórica e de seu relacionamento com a linha de pensamento desenvolvida na presente tese. Além disso, propõem-se a elaboração de críticas e a discussão de algumas das limitações dos vários modelos, fazendo, quando possível, comparações entre as modelagens.

O primeiro modelo, proposto por NELSON & WINTER (1982), enfatiza a competição tecnológica e o avanço do progresso técnico, tal que a participação de mercado dos agentes é determinada por um mecanismo endógeno relacionado aos gastos em investimentos e por aumentos em produtividade oriundos de estratégias bem sucedidas. Em WINTER (1984), uma extensão do primeiro, tem-se a apresentação de um referencial analítico que discute os distintos regimes tecnológicos e a diversidade setorial. O terceiro modelo, conforme SILVERBERG,

DOSI & ORSENIGO (1988), aponta para as questões da difusão tecnológica e de que maneira o aprendizado dos agentes interfere na dinâmica produtiva e no processamento do conhecimento. O modelo de CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993) é o mais amplo, pois trata de situações mais complexas dentro de uma comparação de um setor inovador em produto e outro em processo, discutindo tanto as trajetórias tecnológicas quanto a ampliação dos paradigmas científicos.

1.2.1. Competição dinâmica e progresso técnico³²

O modelo NELSON & WINTER (1982, cap.12) apresentado nessa subseção será dividido em três blocos de equações: (i) a produção e determinação dos lucros; (ii) o crescimento da produtividade e sua interação com a pesquisa e desenvolvimento; e, por fim, (iii) a dinâmica do investimento e o crescimento do estoque de capital.

Antes mesmo de iniciar a explicação dos três blocos, é preciso descrever de que forma se dá o comportamento das firmas. No início de cada período, a firma i é caracterizada por uma produtividade, $A_i(\theta)$, a qual está associada a um estado da tecnologia $\theta \in \Theta$, e por um estoque de capital, K_i . O capital é o único fator produtivo e a produção é caracterizada por um coeficiente fixo de insumos com retornos constantes à escala. O custo por unidade de capital, c , é constante ao longo de diferentes técnicas produtivas. A depreciação do capital é dada por uma taxa constante δ a cada período.

A técnica produtiva é não-incorporada. Não há custo de transação e o capital pode ser convertido sem ônus de uma tecnologia a outra³³. Esta é uma visão da tecnologia baseada num processo de inovação. Na verdade, as firmas não substituem o seu estoque de capital, mas o utilizam de maneira mais eficiente.

³² A exposição do modelo aqui apresentado segue a formulação matemática de JONARD & YILDIZOGLU (1998) por ser mais didática e explicativa do conjunto de todas as variáveis. Para um debate acerca das limitações da modelagem, ver OLTRA (1997) e ALMEIDA (2004).

³³ Em SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988), tem-se um modelo que melhor expressa à realidade com diferentes safras de capital. Este modelo será apresentado na seção 1.2.3.

A inovação corresponde, portanto, a um melhor conhecimento do processo de produção.

No que se refere ao primeiro bloco de equações, cada firma de uma indústria ($i \in I = \{1 \dots N\}$) produz um bem homogêneo através da seguinte função de produção:

$$Q_i = A_i(\theta)K_i \quad (1)$$

O lucro por unidade de capital $\left(\frac{\Pi_i}{K_i} = \frac{RT_i - CT_i}{K_i} \right)$ da firma é dado por:

$$\pi_i = p.A_i(\theta) - \frac{1}{K_i}(C + G_i^{im} + G_i^{in}) \therefore \pi_i = p.A_i(\theta) - c - r_i^{im} - r_i^{in}, \quad (2)$$

onde a receita total é igual ao preço de mercado vezes a quantidade produzida pela firma ($RT_i = p.Q_i$); o custo total é o somatório do custo produtivo com os gastos em pesquisa de imitação e de inovação ($CT_i = C + G_i^{im} + G_i^{in}$); r_i^{im} e r_i^{in} são os gastos por unidade de capital da pesquisa e desenvolvimento da imitação e da inovação, respectivamente; p é o preço de mercado, o qual é determinado por um equilíbrio de curto prazo baseado na produção de mercado:

$$\begin{cases} Q = \sum_{i=1}^N Q_i \\ p = p(Q) = \frac{RT}{Q^{1/\eta}} \end{cases} \quad (3)$$

onde Q é a quantidade total ofertada no mercado; $p(Q)$ é uma função de demanda com elasticidade unitária; RT é a receita total (constante neste caso); e η é a elasticidade de demanda³⁴. O estado de cada firma mudará de um período para outro em função das decisões de pesquisa e desenvolvimento (que modificam a tecnologia e em seguida a produtividade) e dos investimentos (que alteram o estoque de capital).

³⁴ Nas simulações, a elasticidade da demanda é unitária, o que deixa a receita total de mercado (RT) constante. Embora seja uma limitação do modelo, este recurso é utilizado no intuito de mostrar o efeito de queda do preço com a introdução tecnológica e o conseqüente aumento produtivo. Para uma formalização matemática da curva de demanda com elasticidade unitária, ver o APÊNDICE A.

Quanto ao segundo bloco, será mostrado de que maneira a pesquisa e desenvolvimento define a dinâmica da produtividade. Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (imitação e inovação) podem acarretar em aumentos de produtividade de um período para o outro. Quando uma imitação for bem sucedida, a firma obterá a mais eficiente tecnologia identificada pela mais alta produtividade do mercado³⁵. Para cada firma, a probabilidade de sucesso imitativo é o $\min\{a^{im} \cdot r^{im} \cdot K, 1\}$, onde a^{im} é um parâmetro que transforma o investimento de pesquisa e desenvolvimento imitativo num valor probabilístico. A produtividade resultante de um sucesso imitativo é dada por $\hat{A}_i$, tal que $\hat{A}^t = \max_i(A_i^t)$.

Já a probabilidade de sucesso inovativo é determinada pelo $\min\{a^{in} \cdot r^{in} \cdot K, 1\}$, sendo a^{in} o parâmetro que define uma escala probabilística do investimento inovativo. O resultado de um sucesso inovativo é o estado da tecnologia com uma nova produtividade intrínseca, $\tilde{A}(\theta)$, sendo que $\text{Log}[\tilde{A}_i(\theta)]$ tem uma distribuição normal, $N[\lambda', \sigma]$, com média centrada na produtividade atual da firma e com desvio-padrão igual a σ , comum para todas as firmas na indústria³⁶. O efeito do aprendizado é representado por $\lambda' = A^0(\theta) + b \cdot t$, crescendo a uma taxa constante b ao longo do tempo.

Vale lembrar que, ao inovar, a firma também imita. Porém, o contrário não é verdadeiro, uma firma que apenas imita não possui a capacidade de alcançar uma probabilidade advinda de um sucesso inovativo. Para uma firma que obtém sucesso imitativo e inovativo conjuntamente em um particular período, o nível de produtividade do período seguinte é dado por:

$$A_i^{t+1} = \max(A_i^t, \hat{A}^t, \tilde{A}^t) \quad (4)$$

Ao fechar as equações do modelo, o terceiro bloco de equações tem por finalidade apontar a dinâmica do investimento e as decisões de aumentar ou não o

³⁵ JONARD & YILDIZOGLU (1998) elaboraram um modelo com aprendizado localizado e externalidade de rede. Ao ocorrer um sucesso de imitação, a firma alcança a maior produtividade entre os seus vizinhos. Neste sentido, o processo de aprendizado da firma é localizado. Esta maior produtividade pode vir de duas fontes: da tecnologia superior ou das externalidades de rede.

³⁶ Esta distribuição é função do tempo e independente da tecnologia prevalecente na firma, no caso de ciência básica. Ao contrário, quando o conhecimento tecnológico for cumulativo, tal distribuição será independente do tempo, mas dependente da acumulação tecnológica.

estoque de capital. As firmas ajustam o estoque de capital conforme o que se espera da produção de suas concorrentes (conjecturas de *Cournot*). O investimento desejado da firma resulta de uma comparação entre a margem atual de lucro e a margem esperada diante do respectivo poder de mercado. A regra de *mark-up* relativo ao duopólio de *Cournot* pode ser formulada como uma comparação entre o preço de mercado p e o preço esperado da firma, p_i^e :

$$\frac{\partial \pi_i}{\partial q_i} = 0 \Leftrightarrow \frac{p - cmg}{p} = \frac{p - \left(\frac{c}{A_i}\right)}{p} = \frac{s_i}{\eta} \Leftrightarrow p \left(1 - \frac{s_i}{\eta}\right) = \frac{c}{A_i} \Leftrightarrow p_i^e = \frac{c}{A_i} \cdot \frac{\eta}{(\eta - s_i)} \quad (5)$$

O preço esperado aumenta, de um lado, com o crescimento da parcela de mercado da firma (s_i) e com um maior custo por unidade de capital (c). Por outro, há um decrescimento do preço esperado com o aumento da elasticidade da demanda (η) e com o crescimento da produtividade da firma (A_i). Se o preço esperado for menor do que o preço de mercado, o lucro marginal será positivo e, assim, a firma terá interesse em aumentar a produção e o seu estoque de capital. Neste caso, o investimento será maior do que a depreciação do capital, sendo dado pela equação abaixo:

$$I_D = 1 + \delta - \left(\frac{p_i^e}{p}\right), \quad (6)$$

onde I_D é o investimento desejado e δ é a taxa de depreciação do capital. A firma pode financiar seu investimento via lucro (quando positivo) ou através de empréstimo bancário. Assim, a taxa de investimento financeiro (I_F) possível é dada por:

$$I_F = \begin{cases} \delta + (1 + d)\pi_i; & \text{se } \pi_i > 0 \\ \delta + \pi_i; & \text{se } \pi_i \leq 0 \end{cases}, \quad (7)$$

sendo d um coeficiente bancário que indica o grau de financiamento da firma em restrito ou amplo (ou o máximo de unidades de crédito que a firma pode dispor). Por fim, o estoque de capital da firma é, portanto, dado por:

$$K_i^{t+1} = \{1 - \delta + \max[0, \min(I_D, I_F)]\} K_i^t \quad (8)$$

A conjuntura estabelecida por *Cournot* corresponde a exigência de forte racionalidade da firma, ou seja, a existência de algum equilíbrio de *Nash*. Cada firma conhece a elasticidade da demanda e a sua parcela de mercado, o que a leva a um cálculo ótimo que é determinado, de forma implícita, pelo preço esperado. Para que o preço esperado corresponda a um nível ótimo de produto e estoque de capital, o investimento desejado deve ser apenas um caminho possível de ajuste do capital efetivo para o estoque de capital ótimo.

1.2.2. Entrada e saída de firmas e regimes tecnológicos alternativos³⁷

Os trabalhos de SCHUMPETER (1944 e 1946) estabelecem uma divisão do processo de mudança tecnológica em dois regimes (empreendedor e rotineiro), tendo em vista as diferenças setoriais na economia. O conceito de regimes tecnológicos, introduzido por NELSON & WINTER (1982) e WINTER (1984), analisa de forma diferenciada a dinâmica industrial frente às características do ambiente tecnológico. Os regimes se diferenciam em termos das oportunidades tecnológicas, do grau de apropriação das inovações e diante da natureza e transmissão do conhecimento³⁸.

O modelo de WINTER (1984), uma extensão do trabalho de NELSON & WINTER (1982), procura analisar a dinâmica industrial de cada regime tecnológico, enfocando a importância relativa da entrada de novas firmas junto às firmas estabelecidas no processo de inovação. Ademais, tem-se a introdução de um tipo de aprendizado comportamental que ajusta as estratégias de busca tecnológica das firmas, o que altera com o passar do tempo as decisões de investimento.

A estrutura do modelo ora apresentado é idêntica à formulação de NELSON & WINTER (1982). A indústria é o aglomerado de firmas, que produzem

³⁷ Para uma apresentação crítica do modelo de WINTER (1984), confira OLTRA (1997) e ALMEIDA (2004).

³⁸ Em MALERBA & ORSENIGO (1996) e BRESCHI, MALERBA & ORSENIGO (2000), encontra-se uma análise empírica dos regimes tecnológicos.

um bem homogêneo. A produção individual é determinada pelo estoque de capital e pela produtividade associada a um estado tecnológico. A produção industrial define o preço de mercado, o qual determina os lucros das firmas. A parcela de mercado evolui de forma endógena em função do investimento e da produtividade da firma. A evolução da produtividade do capital depende dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. A regra de investimento em capital não se altera; porém, a taxa de investimento, rígida anteriormente, ganha uma dinâmica adaptativa, com ajustes nas decisões de gasto em pesquisa e desenvolvimento, através de regras do tipo *satisficing*.

A cada período, a firma compara o seu nível de desempenho (X_i^t) , dado por uma média ponderada da taxa de lucro passada e corrente, com o lucro médio da indústria $(\bar{\pi}^t)$, ou seja, o nível de aspiração. Se a variável de desempenho estiver abaixo do nível de aspiração considerado como satisfatório, a firma ajustará as decisões de gastos (imitação e inovação) em pesquisa e desenvolvimento por unidade de capital na direção da taxa média de investimento da indústria $(\bar{r}^{im}$ e $\bar{r}^{in})$. Caso contrário, se a variável de desempenho estiver acima, a firma adotará a mesma estratégia utilizada no período anterior. Para tanto, seguem-se as equações abaixo:

$$X_i^t = \alpha.X_i^{t-1} + (1 - \alpha).\pi_i^t, \text{ com } 0 < \alpha < 1 \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} r_i^{im(t+1)} = r_i^{im}; & \text{se } X_i^t \geq \bar{\pi}^t \\ r_i^{im(t+1)} = (1 - \beta).r_i^{im(t)} + \beta.\bar{r}^{im(t)} + u^{im(t)}; & \text{se } X_i^t < \bar{\pi}^t \end{array} \right. \quad (10a)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} r_i^{in(t+1)} = r_i^{in}; & \text{se } X_i^t \geq \bar{\pi}^t \\ r_i^{in(t+1)} = (1 - \beta).r_i^{in(t)} + \beta.\bar{r}^{in(t)} + u^{in(t)}; & \text{se } X_i^t < \bar{\pi}^t \end{array} \right. \quad (10b)$$

em que α é um parâmetro de memória do desempenho, sendo que o peso dos lucros passados cresce com este valor; β é um parâmetro que indica o quanto a regra média será copiada, tal que $0 < \beta < 1$; e $(u^{im}$ e $u^{in})$ são duas variáveis aleatórias retiradas de uma distribuição normal com média zero e desvio-padrão

igual a σ^{im} e σ^{in} . Assim, as firmas ajustam suas estratégias de investimentos em função dos seus respectivos desempenhos.

A estrutura de mercado é alterada por meio das entradas e saídas das firmas. No que se refere à saída, é estabelecido um mínimo do estoque de capital e de desempenho empresarial. Caso haja uma situação econômica em que o estoque de capital ou o desempenho esteja abaixo do mínimo requerido ($K_i^t < K^{\min}$ ou $X_i^t < X^{\min}$), a firma é obrigada a se retirar do mercado.

Quanto ao processo de entrada, uma nova firma será introduzida no mercado após definidas três etapas. A primeira etapa definirá, a cada período, o número de potenciais entrantes imitadores e inovadores. A quantidade de potenciais entrantes é retirada de uma distribuição de *Poisson* (M^t para imitadores e N^t para inovadores), em que a esperança deste valor é proporcional aos gastos em pesquisa imitativa e inovativa realizada fora da indústria em questão (E^{im} e E^{in}). O número de potenciais entrantes, que depende da facilidade de imitação e inovação (a^m e a^n) bem como do nível de pesquisa externa, é definido pelas equações a seguir:

$$M^t = a^m \cdot E^m, \quad (11a)$$

$$N^t = a^n \cdot E^n, \quad (11b)$$

onde E^m corresponde às atividades de pesquisa externa que permitem os potenciais entrantes de imitar os métodos de produção das firmas instaladas; e E^n que é uma medida das atividades de pesquisa externa (o conhecimento gerado, por exemplo, em universidades e instituições públicas de pesquisa) capaz de intensificar o uso imediato de novos conhecimentos.

A segunda etapa do processo de entrada, a qual segue o mesmo processo dentre as firmas estabelecidas, diz respeito à especificação do nível de produtividade dos potenciais entrantes (A^e).

Por fim, a terceira etapa determinará a condição de entrada, sendo esta uma comparação da receita por unidade de capital do potencial entrante ($p \cdot A^e - c$) e uma taxa de barreira à entrada que pode sofrer uma variação residual aleatória retirada de uma distribuição normal ($r^e + u_i^{e(t)}$). A condição de entrada é dada por:

$$p.A^e - c > r^e + u_i^{e(t)} \quad (12)$$

Tal condição significa, portanto, que a entrada de uma potencial firma na indústria se efetiva no momento em que a taxa de lucro por unidade de capital, associada à especificação da produtividade de entrada, for superior à taxa de barreira à entrada. O estoque de capital da firma entrante será estabelecido por uma tiragem aleatória de uma distribuição normal.

Além da constituição do processo de entrada, são definidos dois regimes tecnológicos (RI relacionado ao caso de ciência básica e RII à tecnologia cumulativa), os quais se distinguem em função dos parâmetros de entrada e de distribuição das tiragens inovativas. O primeiro regime possui, quando comparado ao segundo, um nível mais elevado de pesquisa externa de inovação (E^n) e, em contrapartida, um valor mais fraco do parâmetro de facilidade inovativa (a^n). No segundo, embora haja um nível menor de pesquisa externa inovativa, a probabilidade de inovar é mais elevada do que no caso de ciência básica.

Os dois regimes se diferenciam em termos do nível de tiragens inovativas. Em RI, as inovações são retiradas de uma distribuição *log normal* com média igual à produtividade latente (λ'), que evolui de forma exógena. Os resultados do processo de inovação deste regime, equivalente ao caso de ciência básica do modelo NELSON & WINTER (1982), são independentes do nível de produtividade corrente das firmas.

No que tange ao RII, o processo de inovação, contrariamente, é cumulativo ao longo do tempo, já que a média da distribuição *log normal* da produtividade inovativa é uma média aritmética da soma entre a produtividade latente e a produtividade corrente da firma [$\phi.\lambda' + (1 - \phi).A_i'$; sendo $\phi = 1/2$]. Assim, os ganhos produtivos relacionados à inovação tecnológica são dependentes do nível de produtividade corrente da firma. No que se refere à variabilidade da distribuição das tiragens inovativas, o desvio-padrão é maior no RI, o que identifica um nível mais amplo de oportunidades tecnológicas. Conforme a TAB.1, tem-se a exposição, de forma resumida, das principais diferenças entre os dois regimes tecnológicos.

TABELA 1 – Resumo das diferenças entre os regimes tecnológicos RI e RII

Variáveis e parâmetros analisados	Regimes tecnológicos	
	RI (Ciência básica)	RII (Cumulativo)
Nível de pesquisa externa (E^n)	Maior	Menor
Facilidade a inovar (a^n)	Fraco	Forte
Média da distribuição log normal de inovação	$\log(\lambda^t)$	$\frac{\log \lambda^t + \log A_i^t}{2}$
Desvio-padrão das tiragens inovativas (σ)	Amplo	Estreito

Fonte: Adaptado de OLTRA (1997).

As simulações colocam em evidência a distinção entre cada regime tecnológico. O primeiro regime se mostra menos concentrado do que o de tecnologia cumulativa. No RII, as firmas estabelecidas tendem a dominar progressivamente o mercado, já que o nível de investimento em pesquisa e desenvolvimento é mais elevado, transformando o mercado em um oligopólio. Em RI, o mercado é mais competitivo com um menor período de operação das firmas, o que leva a uma maior taxa de entrada e saída.

Embora as inovações sejam dadas de forma incremental em RII, a produtividade (máxima e média do capital) é mais elevada, quando comparada à do RI. No primeiro regime, de um lado, o processo de inovação é conduzido basicamente pelas firmas entrantes, uma vez que não há o caráter cumulativo do conhecimento tecnológico. De outro, no segundo, as inovações são provenientes das firmas já instaladas, que se beneficiam por serem as primeiras a produzir no mercado (*first movers advantages*).

1.2.3. Inovação, diversidade e difusão tecnológica³⁹

A difusão de novos produtos e processos é dada ao longo do tempo, em que alguns agentes adotam uma tecnologia mais cedo do que outros. Por que uma nova tecnologia não é adotada instantaneamente pelos potenciais usuários? Como se representa a dinâmica dos caminhos da difusão tecnológica? Quais são as variáveis relevantes desse processo? Tais questionamentos são o foco de análise do estudo de SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988), o qual propõe a elaboração de um modelo de difusão tecnológica com transição de trajetórias tecnológicas. A diversidade das capacitações das firmas e de suas expectativas é elemento essencial na condução do processo de difusão tecnológica.

Numa tentativa de superar as limitações do modelo NELSON & WINTER (1982), há quatro aspectos das especificações da modelagem de SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) que influenciaram as análises posteriores dos estudos evolucionários: i) o processo de formação de preços, baseado no princípio do custo total; ii) o uso de um mecanismo de seleção que compara o desempenho da firma com o conjunto da indústria, alterando a parcela de mercado entre os agentes ao longo do tempo; iii) a estrutura de safras na composição do estoque de capital, o que permite diferenciar a produtividade associada ao capital antigo e aos novos equipamentos adquiridos (sejam para expansão da capacidade produtiva ou mesmo para reposição das máquinas obsoletas); e, por fim, iv) a introdução de mecanismos de aprendizado, os quais influenciam a eficiência produtiva da firma e as decisões empresariais de mudança técnica.

Para compreender melhor estes aspectos, é necessário analisar a estrutura do modelo. Inicialmente, a demanda cresce a uma taxa exponencial distribuída pela parcela de mercado (ou *market share*) de cada uma das firmas. A

³⁹ O processo de difusão tecnológica do modelo elaborado por SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) é mais sofisticado do que a curva logística da adoção de milho híbrido desenvolvida por GRILICHES (1957), a qual tentou identificar regularidades empíricas da trajetória da difusão. O modelo de difusão do milho híbrido será apresentado no capítulo 2. Vale ressaltar que ALMEIDA (2004) faz uma avaliação crítica do modelo aqui apresentado em termos da apropriação e transmissão do conhecimento.

parcela de mercado depende da comparação da competitividade da firma em relação ao mercado (média competitiva da indústria). Ao denotar a parcela de mercado da firma i por f_i e a sua competitividade por E_i , se a competitividade da firma for menor do que a média do mercado ($\bar{E}$); então, a parcela futura de mercado da firma i tenderá a se reduzir. O contrário também é verdadeiro. Se $E_i > \bar{E}$, a parcela de mercado da firma crescerá. Assim, a evolução da parcela relativa de mercado é dada por uma equação do tipo replicador (*replicator dynamic*)⁴⁰:

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} = A_9 (E_i - \bar{E}) f_i; \text{ onde } \bar{E} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot E_i \quad (13)$$

O parâmetro de competitividade é definido como uma combinação linear dos termos que refletem o preço relativo e o diferencial do atraso de entrega:

$$E_i = -\ln p_i - A_{10} \cdot dd_i, \quad (14)$$

onde p_i é o preço de mercado da última firma e dd_i o seu atraso corrente de entrega. Uma firma será mais competitiva do que a outra, se a mesma for capaz de reduzir mais o seu preço relativo (em relação às demais concorrentes) e, simultaneamente, diminuir os atrasos de entrega.

A natureza do processo de mudança tecnológica inclui mecanismos de aprendizado, os quais influenciam a firma no uso eficiente de uma dada tecnologia. O estoque de capital da firma i (mensurado em unidades de capacidade produtiva, a qual pode ser obtida com diferentes safras de máquinas e equipamentos) é acumulado no tempo entre o período corrente t e a data de sucateamento $T_i(t)$:

$$K_i(t) = \int_t^{T_i} K_i(t, t') dt' = \begin{cases} K_i(t, t') = K_i(t', t'); & \text{se } T_i(t) < t' < t \\ 0; & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (15)$$

onde $K_i(t, t)$ é o investimento bruto no tempo t (em capacidade unitária). O estoque agregado de capital deve ser uma composição de diferentes tecnologias

⁴⁰ Para uma discussão da equação do tipo replicador (princípio de Fischer) e do processo de competição, veja METCALFE (2002, cap.2).

(ou safras tecnológicas) de uma mesma trajetória. O progresso técnico é do tipo incorporado⁴¹, introduzido por meio de aquisição de máquinas e equipamentos. O cálculo do período de recuperação do investimento (*payback period*) é determinado entre o preço do novo equipamento e o custo produtivo, o qual leva em consideração o custo desejado de sucateamento e o custo presente (em termos unitários de operação):

$$\frac{P(t)}{[c(T_{di}) - c(t)]} = b_i, \quad (16)$$

onde $P(t)$ é o preço do novo equipamento por unidade de capacidade; $c(\dots)$ é o custo unitário de operação de uma safra em questão; T_{di} é a data desejada de sucateamento do estoque de capital (diversa para cada firma); e b_i o período de recuperação do investimento. Quanto maior for o ritmo inovativo da indústria, maior será a pressão sobre as decisões da firma em inutilizar parte do seu capital, antes mesmo que sua vida útil tenha sido atingida.

A data atual de sucata é ajustada pela data desejada:

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = z_i \max[A_{11}(T_{di} - T_i), 0], \quad (17)$$

em que z_i é um parâmetro entre 0 e 1 que expressa a taxa de capital de giro necessário ao financiamento do investimento desejado e que deve crescer conforme menor for a restrição financeira enfrentada pela firma. A quantidade de equipamento sucateado (S_i) é um resultado da especificação da data atual de sucata:

$$S_i = K_i(t, T_i) \dot{T}_i \quad (18)$$

A expansão líquida ou contração da capacidade produtiva é dada por uma taxa (r_i):

$$N_i = r_i \cdot K_i \quad (19)$$

⁴¹ Porém, a incorporação do progresso técnico, ao contrário do modelo de NELSON & WINTER (1982), é dada apenas nos novos equipamentos adquiridos, e não integralmente na totalidade do estoque de capital da firma.

O estoque de capital varia ao longo do tempo devido ao investimento bruto e à reposição da sucata:

$$\frac{\partial K_i}{\partial t} = N_i = K_i(t, t) - S_i \quad (20)$$

A taxa desejada de expansão da capacidade deve ser, no período inicial, estabelecida a qualquer nível (em função do grau de *animal spirits* dos agentes); porém, revisada com o aumento ou redução da capacidade ociosa. Se a capacidade ociosa diminuir, esta taxa deverá expandir (e vice-versa). Assim, tem-se:

$$\frac{\partial r_i}{\partial t} = A_{13}(u_i - u_0), \quad (21)$$

onde u é a taxa de utilização da capacidade e u_0 é o nível desejado de utilização. O trabalho é assumido como o único custo corrente de produção, o qual pode ser decomposto entre o custo primário e as despesas gerais (os custos administrativos do trabalho, por exemplo). O coeficiente primário do custo por unidade de trabalho é uma média histórica do coeficiente de produtividade do trabalho $a(t)$ ponderado pela safra:

$$\langle a \rangle = \int_t^T a(t') \cdot \frac{K(t, t')}{K(t)} dt' \quad (22)$$

Deve-se lembrar que este coeficiente altera ao longo do tempo devido às flutuações da aquisição de equipamentos produtivos (novos investimentos e reposição do capital). Por diferenciação da equação anterior, tem-se:

$$\frac{\partial \langle a \rangle}{\partial t} = \frac{\{K(t, t)[a(t) - \langle a \rangle] + S[\langle a \rangle - a(T)]\}}{K} \quad (23)$$

Se o investimento líquido da expansão desejada for dado (por exemplo, $N > 0$), todo equipamento sucateado será repostado pelo investimento numa magnitude R , tal que $R = S$ e o investimento bruto no tempo t igual a $N + R$. Então:

$$\frac{\partial \langle a \rangle}{\partial t} = \frac{\{(N + R)[a(t) - \langle a \rangle] + R[\langle a \rangle - a(T)]\}}{K} \quad (24)$$

Assim, o investimento de reposição contribui com menores custos por unidade investida do que com a expansão do investimento. Os custos unitários são determinados pela idade do capital estoque e pela história da mudança técnica a qual representa. Tais custos variam ao longo do tempo em função do sucateamento das máquinas e das estratégias de expansão da firma, restritos pela condição financeira dos investimentos, pela função de custos produtivos e pela lucratividade.

Já as despesas gerais do trabalho por unidade de produção em plena capacidade de operação produtiva são assumidas como proporcionais à unidade de trabalho primário. Sendo assim, a despesa total do trabalho é este valor multiplicado pela capacidade total de produção K . Contrário ao trabalho total primário, as despesas gerais são independentes da capacidade de utilização produtiva.

O nível de produção é fixado de modo a compensar os desvios dos atrasos correntes de entrega (dd) de um padrão industrial (dd_0). O atraso de entrega dd é a razão entre os pedidos acumulados (L) e a produção corrente (y). Os pedidos acumulados são mudados ao longo do tempo pela taxa:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = d - y \quad (25)$$

onde d , que representa as novas encomendas, é igual à parcela de mercado da firma multiplicada pela demanda total de mercado.

O preço é definido numa comparação da capacidade da firma de estabelecer *mark up* acima do custo produtivo e da posição relativa da competitividade da firma no conjunto da indústria. Sendo p_i o logaritmo do preço de mercado da firma i e p_{ci} o preço desejado de *mark up*, a variação do preço no tempo é dada por:

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} = A_7(p_{ci} - p_i) + A_8(E_i - \bar{E}) \quad (26)$$

A equação acima descrita transmite a idéia de poder de mercado, posto que a empresa almeja elevar o preço do produto sem que haja perda de parcela de mercado.

O modelo considera duas trajetórias tecnológicas, uma conhecida por uma dada tecnologia e outra a ser difundida. Cada uma das duas trajetórias tecnológicas indica a produtividade máxima potencial que pode ser obtida pelos equipamentos de cada safra. Assume-se que a segunda tecnologia é potencialmente mais produtiva do que a primeira. Porém, o ganho efetivo potencial depende da capacidade gerencial específica (habilidade e experiência – *skill level*) da firma (s_i) na exploração da tecnologia. Por simplificação, todas as firmas iniciam a produção com a tecnologia I e, em seguida, no período futuro, a tecnologia II se torna disponível. No momento dessa disponibilidade, a eficiência na utilização da tecnologia I será máxima (ou saturada), com $s_i = 1$.

Ao optar por uma nova tecnologia, a produtividade efetiva da firma é apenas um percentual ($0 < s_i \leq 1$) da produtividade inata da nova máquina ou equipamento. Além disso, o uso de uma nova tecnologia depende de conhecimento e experiência e, nesse sentido, as decisões de investimento numa nova tecnologia baseiam-se em elementos expectacionais envolvidos num ambiente de incertezas (em termos de lucratividade e eficiência produtiva futura).

Na medida em que a firma aprofunda a exploração de uma dada tecnologia, caminha-se para um ponto de exaustão do potencial produtivo tecnológico. Ao crescer a produção acumulada da firma (CP_i) com uma dada tecnologia, tem-se o aumento da eficiência produtiva, em termos da apropriação do potencial produtivo incorporado na tecnologia. Sendo P_i a produção corrente da firma com o uso da tecnologia em questão e C uma constante proporcional ao estoque de capital, a evolução no tempo da habilidade e experiência da firma no uso tecnológico é dada por:

$$\frac{\partial s_i}{\partial t} = A_{15} \left[\frac{P_i}{(CP_i + C)} \cdot s_i (1 - s_i) \right]; \text{ se } s_i > s_p, \quad (27)$$

sendo s_p o nível de conhecimento de domínio público (*public skills*) do uso tecnológico. A eficiência produtiva possui um movimento de queda bem conhecido pelas curvas de aprendizado ou experiência. Como a produção acumulada da firma tende a crescer acima do valor da produção corrente, a evolução da

experiência ($\partial s_i / \partial t$) tem uma tendência de queda ao longo do tempo. O processo de aprendizado interno da firma gera externalidades positivas aos seus concorrentes. A difusão tecnológica permite o aumento do conhecimento público. Assim, os ganhos de eficiência, em termos de aprendizado ao longo do tempo, aumentam o conhecimento público, com alguma defasagem, na utilização da tecnologia em questão:

$$\frac{\partial s_p}{\partial t} = A_4 \left[\left(\sum f_i \cdot s_i \right) - s_p \right] \quad (28)$$

As firmas se beneficiam, mesmo não empregando a nova tecnologia, dos efeitos de transbordamentos do conhecimento público, já que as mesmas estão inseridas no ambiente de crescimento do nível geral de experiência:

$$\partial s_i / \partial t = \partial s_p / \partial t; \text{ se } s_i = s_p \quad (29)$$

A decisão do período ótimo de adoção tecnológica se difere entre as firmas, já que se ponderam tantos os custos quanto os benefícios. A firma incorre em novos custos ao migrar de uma tecnologia para outra e estes devem ser comparados com a situação anterior. Quanto mais rápida for a adoção, maiores serão os custos incorridos para se alcançar níveis máximos de eficiência e os gastos em aprendizado e aperfeiçoamento tecnológico. No que se referem aos benefícios, as firmas buscam as vantagens competitivas do pioneirismo no uso tecnológico (seja em termos de aumento da participação de mercado, ou mesmo em crescimento da lucratividade). Quanto maior for o ganho, maior será a pressão sobre a firma no intuito de realizar a conversão tecnológica.

Uma nova tecnologia será preferida à atual, se a produtividade ajustada for maior do que a antiga, o que pode significar redução de custo por unidade de capacidade ao longo do tempo. Mesmo que haja elevação dos custos com a introdução tecnológica, a expectativa de recuperação do investimento deve superar o preço da tecnologia (ou custo do investimento). Se P e c são, respectivamente, o preço por unidade de eficiência e o custo unitário (lembrando que 1 se refere à tecnologia antiga e 2 à nova), tem-se:

$$\frac{(P_2 - P_1)}{(c_1 - c_2 / s_i X_i)} \leq b_i \quad (30)$$

Diante do exposto, percebe-se que o modelo faz uma ampla discussão acerca da diversidade entre os agentes, por meio do aprendizado diferenciado, dos alternativos regimes tecnológicos (o caso de ciência básica e o de tecnologia cumulativa ou incremental) e da difusão tecnológica entre os agentes, como sendo um resumo dos resultados de toda a dinâmica do modelo. A difusão tecnológica é descrita por uma curva logística, porém representada num ambiente de complexidade econômica e diferenciação entre as firmas⁴².

Como mostrado por ALMEIDA (2004), no que se refere aos mecanismos de aprendizado e suas externalidades, existem aspectos problemáticos na interpretação do modelo que estão ligados à apropriabilidade e aos efeitos de transbordamentos do conhecimento. Se a capacidade de absorção de conhecimento depende dos investimentos, como fonte de aprendizado, e dos níveis de educação dos recursos humanos de cada firma, é razoável pensar que os benefícios apropriados são específicos e, conseqüentemente, distribuídos de forma assimétrica entre os agentes. Além do mais, o aumento produtivo associado à aprendizagem não é integralmente transferido às firmas rivais, seja por meio de instruções operacionais, pela mobilidade dos fatores ou por publicações do conhecimento tecnológico. O aprendizado pelo uso ou experiência (*learning by doing*) é produto da eficiência e agilidade de operação de cada firma, resultante da intensidade e duração de uma atividade específica.

1.2.4. Trajetórias tecnológicas e mudança de paradigma⁴³

Os trabalhos de CHIAROMONTE & DOSI (1992) e CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993) abordaram 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 & WINTER (1982), na

⁴² SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e GRILICHES (1957) chegam a conclusões similares em termos da representação da curva logística e difusão tecnológica. Porém, a modelagem aqui tratada incorpora muitos elementos da dinâmica produtiva, até então não discutidos no exemplo do milho híbrido.

⁴³ 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).

formalização do processo inovativo, com o modelo SILVERBERG, DOSI & 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 e 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 implica somente na aquisição de informações de processos acerca de novos produtos ou técnicas, mas na existência da gestão do conhecimento tácito e específico incorporado nos agentes. A capacidade de inovar é dependente dos conhecimentos gerenciais.

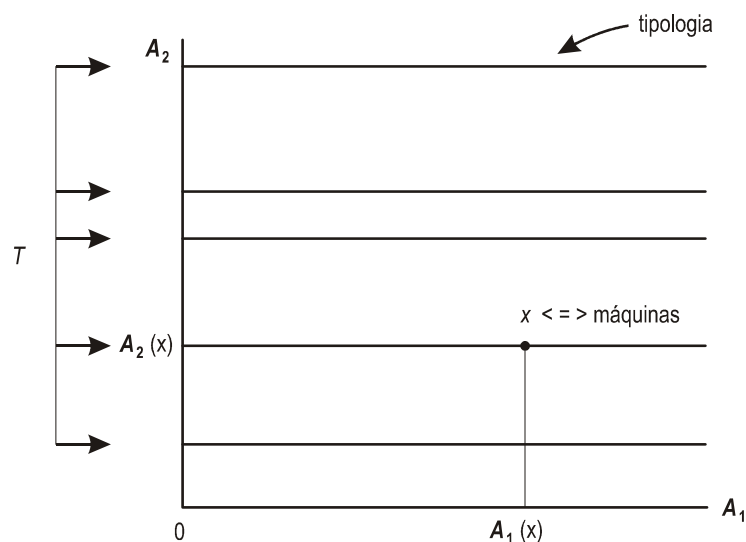


FIGURA 3 – Oportunidades inovativas.

Fonte: CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993, p.122).

De acordo com o FIG.3, 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 à 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, onde 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 & 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 & ORSENIGO (1993), o setor 2 é um segmento *dominado pelos fornecedores*.

Como especificado por CHIAROMONTE, DOSI & 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 ($\Re_+^2$). Define-se uma tipologia de máquinas como sendo uma escolha de pontos, $x = (A_1, A_2)$ em $\Re_+^2$, que pertencem a um mesmo paradigma dado por: $(x \in \Re_+^2 : A_1 \in IN, \text{ e } A_2 = a_2), a_2 \in IN$.

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:

$$\Pr(AT(t)=1) = p = 1 - \exp(-r.Y_m(t)), \quad (30)$$

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 $n = (1+h)A_2^*(t-1)$ ⁴⁴, em que $A_2^* = \max(T(t-1))$. Sendo $AT(t) = 1$, tem-se:

$$T(t) - T(t-1) = A_2; A_2 \sim U[m, n] \quad (31)$$

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 acima), sendo a probabilidade de acesso a uma nova geração de máquinas no tempo t definida por:

$$\Pr(AG_i(t) = 1) = 1 - \exp(-r_g \cdot I_i^g(t)), \quad (32)$$

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:

$$A_{2i}^g(t) = \max(T(t) \cap [A_2(x_i(t)); A_2(x_i(t)) + \lambda \cdot \theta_i(t)]) \quad (33)$$

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

$$\max(0; A_1(x_i(t)) - a; A_1(x_i(t)) + a), \quad (34)$$

⁴⁴ 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:

$$\Pr(AM_i(t) = 1) = 1 - \exp(-r_m \cdot I_i^{m*}(t)), \quad (35)$$

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 $X_i(t)$.

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

$$MET = \begin{pmatrix} met1 & 0 \\ 0 & met2 \end{pmatrix}. \text{ A probabilidade é expressa pelo percentual dos agentes}$$

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:

$$\Pr(x_i^m(t) = z) = f(D(z, x_i), \gamma(z, t)) \quad (36)$$

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 idéia de que é mais

fácil copiar àquelas máquinas com maior proximidade tecnológica com as técnicas conhecidas pelo agente imitador.

A FIG.4 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 .

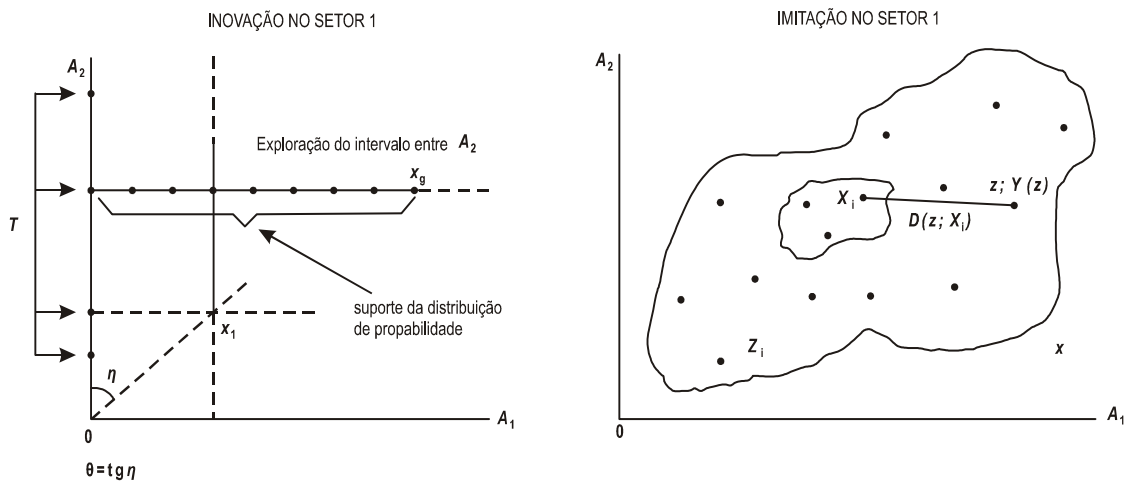


FIGURA 4 – Inovação e imitação no setor produtor de máquinas (setor 1).
Fonte: CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993, p.130-131).

Quanto ao processo de difusão, aprendizado e produção no setor 2, o modelo segue a lógica do trabalho de SILVERBERG, DOSI & 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, em que 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 descontinuidades tecnológicas. Este modelo pode ser representativo do caso agrícola. O setor 1 representaria o segmento fornecedor de insumos tecnológicos, enquanto que o setor 2 estaria relacionado à produção agrícola. Vale ressaltar que o setor 2 não é apenas àquele *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 & 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 dos efeitos de transbordamento do conhecimento em rede.

1.3. Organizações retentoras do conhecimento: o processo de aprendizado

Na seção anterior (acerca da dinâmica industrial), apresentaram-se alguns modelos evolucionários, os quais sistematizaram algumas idéias conceituais importantes, como, por exemplo, o processo de inovação e imitação, a questão da entrada e saída de firmas no mercado, os distintos regimes tecnológicos, a adoção e difusão tecnológica, as trajetórias e paradigmas tecnológicos e a interação e interdependência setorial. É nítida a importância do aprendizado na dinâmica industrial, especificamente em SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993).

Fica evidente, então, a necessidade de se trabalhar melhor a questão do aprendizado, dos efeitos de transbordamentos do conhecimento e da capacidade de absorção do conhecimento externo. A presente seção tem por objetivo discutir o processo de aprendizagem e de acumulação do conhecimento. Será apresentado, de um lado, o trabalho empírico de COHEN & 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 & OLTRA (2002), tem-se a exposição do modelo de diversidade das estratégias inovativas como fonte do desempenho tecnológico das firmas.

1.3.1. 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 & 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 & KISLEV (1973), como mencionado por COHEN & LEVINTHAL (1989), fazem análise similar ao observar a transferência internacional de tecnologia agrícola, embora seja 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 & 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:

$$z_i = M_i + \gamma_i \left(\theta \cdot \sum_{j \neq i} M_j + T \right), \quad (37)$$

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 mercado⁴⁵. 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 esta 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

⁴⁵ 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, veja OLTRA (1997). Quanto a uma avaliação dos desdobramentos normativos e implicações para a política industrial, confira BAPTISTA (2000).

(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.

Conseqüentemente, 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 , a capacidade de absorção da firma dependerá mais 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 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 extra-industrial (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):

$$R = \frac{d\Pi_i}{dM_i} = \frac{\partial\Pi_i}{\partial z_i} \left[1 + \frac{\partial\gamma_i}{\partial M_i} \left(\theta \sum_{j \neq i} M_j + T \right) \right] + \theta \cdot \sum_{j \neq i} \gamma_j \frac{\partial\Pi_i}{\partial z_j} \quad (38)$$

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 idéia 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 acima (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 absorção⁴⁶. 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 contraproducente, a firma não tem um 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, a elasticidade preço da demanda e o número de firmas na indústria⁴⁷.

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 investimentos⁴⁸.

⁴⁶ COHEN & LEVINTHAL (1989) mostram que, nos setores industriais relacionados à ciência básica, os gastos em pesquisa e desenvolvimento das firmas são mais elevados.

⁴⁷ Os testes empíricos dos trabalhos de COHEN & LEVINTHAL (1989 e 1990) tendem a mostrar que o efeito contraproducente é dominante.

⁴⁸ Na agricultura, espera-se que, com o crescimento do conhecimento externo, haja um maior estímulo do nível de investimento em capacidade de absorção.

1.3.2. 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 & 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 aqui apresentado está baseado na modelagem de NELSON & WINTER (1982) e WINTER (1984); porém, enfatiza, como no modelo empírico de COHEN & LEVINTHAL (1989 e 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.

A estrutura do modelo é idêntica à formulação matemática de NELSON & 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 & 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 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 abaixo:

$$r_{it}^{des} = \begin{cases} r_{i,t-1}^{des} + \lambda(\bar{A}_t - A_{it}); & \text{se } A_{it} < \bar{A}_t \\ r_{i,t-1}^{des}; & \text{se } A_{it} \geq \bar{A}_t \end{cases} \quad (39)$$

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:

$$R_{it} = \min(r_{it}^{des} \cdot P_t \cdot Q_{it}; \Pi_{it} - \delta K_{it}), \quad (40)$$

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:

$$\bar{R}_{it} = \alpha_R \cdot \bar{R}_{i,t-1} + (1 - \alpha_R) R_{it}, \quad (41)$$

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 as 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:

$$z_{it} = (1 - \alpha_z) z_{i,t-1} + \bar{R}_{it}, \quad (42)$$

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:

$$\tilde{z}_{it} = \ln(1 + z_{it}) \quad (43)$$

Esta função implica em 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:

$$P_{it}^{Inn} = \frac{P_1}{P_2 + P_3 \cdot \exp(-a_n \cdot \tilde{z}_{it})}, \quad (44)$$

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 uma maior produtividade do que a tecnologia prevalecente. Então, o nível de produtividade para o período subsequente é dado por:

$$A_{i,t+1} = \max(A_{it}; A_{it}^{Inn}) \quad (45)$$

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 a 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:

$$\gamma_{it} = 1 - \frac{2\beta}{\sqrt{R_{it}}}, \text{ com } 0 < \beta < 1 \quad (46)$$

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 $\bar{\gamma}$:

$$r_{it}^{des} = \begin{cases} r_{i,t-1}^{des} + \lambda(\bar{\gamma} - \gamma_{it}); & \text{se } \gamma_{it} < \bar{\gamma} \\ r_{i,t-1}^{des}; & \text{se } \gamma_{it} > \bar{\gamma} \end{cases} \quad (47)$$

A regra acima 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 40) e o investimento é determinado pelo nível de pesquisa das firmas não cumulativas (conforme a mesma lógica da equação 41).

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}):

$$\bar{R}_t = \sum_{i=1}^n \mu_{it} \cdot R_{it}, \text{ com } \mu_{it} = Q_{it} / \sum_{i=1}^n Q_{it} \quad (48)$$

Firmas com elevada participação produtiva geram mais efeitos de transbordamento do que as 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:

$$\tilde{z}_{it} = (1 - \alpha_z) \tilde{z}_{i,t-1} + \gamma_{i,t} (\theta_s \bar{R}_t + R_p), \quad (49)$$

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 as mesmas 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 individuais⁴⁹.

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 $\pi_{it} \geq \rho$, as mesmas procuram 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:

$$\Delta K_{it} = \begin{cases} 0; & \text{se } \pi_{it} < \rho \\ \min[\tau \cdot K_{it}; (\Pi_{it} - \delta K_{it} - R_{it})]; & \text{se } \pi_{it} \geq \rho \end{cases} \quad (50)$$

⁴⁹ Segundo LLERENA & 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.

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 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.

2. APLICAÇÃO TEÓRICA NA AGRICULTURA

O capítulo 2 faz uma avaliação do referencial teórico relacionado ao progresso tecnológico da agricultura. Para tanto, dividem-se a exposição e a argumentação do pensamento em três seções. A primeira aborda, no contexto da agricultura, a construção da trajetória tecnológica ampliada. A segunda elabora uma revisão crítica da literatura voltada ao entendimento da mudança técnica no setor agrícola. Em seqüência, discutem-se os principais desdobramentos do aprendizado localizado, fator chave em qualquer proposição de estudo do caso agrícola.

2.1. Trajetória Tecnológica Ampliada (TTA) da agricultura

A trajetória tecnológica que marca o desenvolvimento de um moderno setor agrícola é determinada por sistemas complexos de inovação. É preciso romper com a idéia de que a atividade agrícola é progressivamente superada pela industrialização. Deve-se perceber que vários países e regiões foram capazes de conduzir um processo de desenvolvimento econômico com uma base agroindustrial em seu núcleo de crescimento. As principais transformações da agricultura são decorrentes da criação de um conjunto de capacitações e instituições.

Vários estudos entendem o setor agrícola como sendo importador de conteúdo tecnológico ou *dominado pelos fornecedores*⁵⁰. Ao discutir o tratamento tecnológico na agricultura, DOSI (1988, p.1161), por exemplo, ressalta que *"Innovations are mainly embodied in equipment and components bought from other sectors, and while technological opportunities might be significant, they are*

⁵⁰ Dentre tais estudos, apenas para algumas referências, destacam-se PAIVA (1971), HAYAMI & RUTTAN (1988), COXHEAD (1992), SILVA (1995), SADOULET & DE JANVRY (1995), ALLEN & LUECK (1998 e 2003), JOHNSON & EVENSON (2000), DIEDEREN, MEIJL & WOLTERS (2002), ESPOSTI (2002), SURJ (2006), PAVITT (1984), DOSI (1988) e, mesmo em alguns trechos, NELSON & WINTER (1977).

mainly generated exogenously (...)”, sendo a atividade agrícola classificada como de baixa cumulatividade tecnológica, o que nem sempre confere com o enfoque da capacidade gerencial de uso da nova informação. Todavia, no que se refere à capacidade de absorção, o conhecimento na agricultura é relativamente cumulativo.

Não obstante, o mesmo autor, *loc. cit.*, é ambíguo ao tratar a questão da adoção tecnológica pelos agricultores, quando este afirma que *“Suppliers of new types of machinery, components, seeds, and so on have an interest in the most rapid possible diffusion of their outputs, and thus the rates of change in average performance (productivity, etc.) in the user sectors depends jointly on (a) the pace of innovation in the supplier sectors and (b) the variant conditions governing adoption”*. O raciocínio seria correto, se estivesse pressuposto que as inovações nos setores fornecedores fossem constantemente influenciadas pela dinâmica da produção agrícola, sendo menos uma relação de dependência e mais de complementaridade.

É preciso ressaltar que a difusão de produtos intermediários, na agricultura ou mesmo em outros setores econômicos, ocasiona inovações de produto e de processo nos segmentos usuários. Ao analisar a importância da interdependência⁵¹ tecnológica entre os setores da indústria dos semicondutores, contrariamente à sua opinião em relação ao caso agrícola, DOSI (1984) confirma que as difusões na produção e na demanda são fortemente interdependentes.

(...) the rates of innovation/imitation in user industries are often dynamically linked with the technological levels of that domestic industry where the innovations come from. The opposite holds true as well: the technological levels, the size and the competitive patterns in user industries provide a more or less conducive environment for technological innovation and/or imitation in the industry ‘upstream’, i.e. the industry originating the innovations (DOSI, 1984: 288).

Ademais, a relação de reciprocidade tecnológica entre os setores é compatível com a abordagem de *filières* industriais⁵². Para o mesmo autor,

⁵¹ Veja que interdependência se difere de dependência, havendo uma relação intersetorial de duplo sentido e, portanto, de maior complementaridade por um mecanismo de ação e reação.

⁵² Perceba que a idéia de *cadeias produtivas regionais* é bastante próxima desta abordagem.

The concept of industrial 'filières' (in English, 'web' or 'cluster'), despite being fairly impressionistic, helps to highlight a system of interdependence based, on the traded side, on input-output relations, and, even more importantly, on the untraded side, on technological interdependences, which are likely to be (...) region-specific and company-specific. In this context, 'chains' of innovations in different interlinked sectors might tend to be reinforcing in 'virtuous circles' affecting both sectoral technological levels and their rates of growth (DOSI, loc. cit.).

Portanto, talvez por falta de conhecimento do funcionamento da moderna agricultura ou por puro preconceito em analisar o caso agrícola como um setor retardatário, alguns estudos ainda insistem na dinâmica tecnológica como sendo externa ao setor produtivo. De maneira inversa, a agricultura é aqui tratada de forma análoga ao enfoque acima citado de *filières* industriais. Além disso, é necessário interpretar a adoção, baseada no conhecimento prévio acumulado, como um mecanismo de experimentação que, se bem sucedido, promove a difusão da mudança tecnológica. Como o processo de difusão é de interesse do segmento fornecedor, seja por aumento das vendas ou crescimento do lucro, a interdependência da produção agrícola e da cadeia produtiva se define pela troca de informações, no intuito de adequar as novas tecnologias às condições produtivas regionais específicas. O processo de adoção tecnológica depende, por sua vez, do estoque de conhecimento de cada agricultor. Como mostrado por ESPOSTI (2002, p.694),

Firstly, innovations in agriculture are often site-specific to some extent and transfer can be constrained by multiple factors: adaptation to climate and soil, particular pest problems, specific local crops or products, and so on. Secondly, however, many sources and channels of innovation can create new technological opportunities for the farm production also in site-specific contexts whenever these opportunities are adequately adapted.

A organização da atividade agrícola (ver FIG.5) é definida em sentido amplo, envolvendo não apenas as atividades a montante e a jusante da unidade produtiva, como também um amplo sistema de pesquisa, ciência e tecnologia. As inovações relevantes na agricultura ocorrem ao longo da *cadeia produtiva regional*⁵³. O segmento fornecedor de insumos tecnológicos compreende as inovações mecânicas, químicas e biológicas. A distribuição incorpora as inovações

⁵³ Cf. POSSAS, SALLES-FILHO & SILVEIRA (1996), VIEIRA FILHO (2004) e VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005).

agroindustriais e organizacionais, passando pelo armazenamento e pelo processamento. Já a unidade de produção, centralizadora das principais demandas, gera, por sua vez, as inovações agronômicas e gerenciais, além de sinalizar ao mercado oportunidades tecnológicas, promovendo e ampliando a troca de conhecimento⁵⁴.

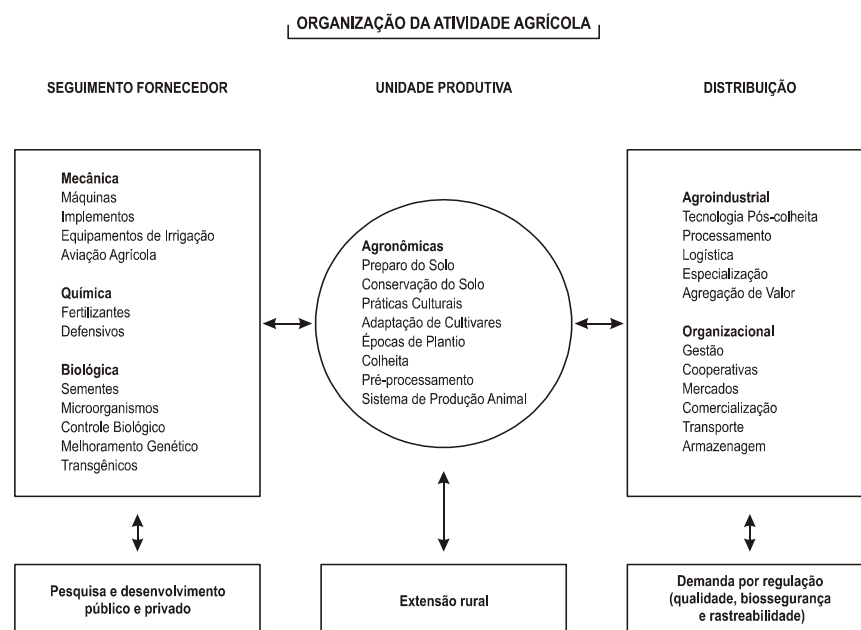


FIGURA 5 – Inovação, ciência e tecnologia na organização da atividade agrícola.

Fonte: Adaptado de LOPES (2003).

Uma nova descoberta, para se tornar inovação tecnológica, seja pelo fornecedor ou por novas formas distributivas, passa por uma avaliação técnica (estudos agronômicos) como também por um processo interno de adoção, o qual se configura por variáveis ambientais e socialmente determinadas. Logo em seguida, após a configuração do processo de adoção, tem-se a etapa da difusão tecnológica, que depende do regime tecnológico como das redes de aprendizado no interior de toda a organização produtiva. Portanto, o processo de inovação na

⁵⁴ No Brasil, as estimativas da participação do agronegócio variam de 15%, num sentido mais estrito, até 45%, englobando toda a organização da atividade agrícola. Conforme SALLES-FILHO & SILVEIRA (1991), tal variação depende do tipo de metodologia utilizada para estabelecer uma fronteira entre o agronegócio e a indústria. GASQUES *et al.* (2004b) mensuraram a participação do agronegócio em torno de 34% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, sendo este dividido, em média, por 6% pelos insumos agropecuários, 30% pela agropecuária, 31% pela agroindústria e 33% pela distribuição.

agricultura, que define tanto a questão da adoção quanto os parâmetros da difusão tecnológica, é constituído no interior de complexos arranjos produtivos, interligados entre si, mediado por instituições promotoras do conhecimento, como centros de pesquisa, universidades, empresas de extensão rural e órgãos reguladores do Estado⁵⁵. De acordo com NELSON & WINTER (1977, p.47-48),

(...) in agriculture, there is considerable public subsidization of research done by predominantly non-profit institutions (largely universities) and a subsidized federal-state extension service for the dissemination of information regarding new technological developments to farmers, interacting with the network of private farms, and industries that produce and sell farm equipment, fertilizers, etc.

A relação da produção agrícola com o uso de insumos não se dá por meio da dependência tecnológica, mas fundamentalmente no que tange à complementaridade setorial e à coevolução da produção agrícola e do desenvolvimento de novas tecnologias. Os estudos empíricos de MALERBA & ORSENIGO (1996) e BRESCHI, MALERBA & ORSENIGO (2000) registraram que a estrutura institucional para o desenvolvimento da inovação é muito complexa dentro de um setor econômico (e a agricultura não foge à regra) e varia, significativamente, entre o conjunto dos demais setores. O regime tecnológico agrícola define condições específicas de oportunidade, de apropriação, de cumulatividade e de propriedades da natureza do conhecimento.

Uma determinada tecnologia será rapidamente difundida na agricultura quando as necessidades do setor produtivo são atendidas. Quanto maior for o uso eficiente de uma dada tecnologia, maior será a capacidade de resposta do setor produtivo a ponto de influenciar as trajetórias tecnológicas do setor fornecedor de insumos, engendrando a geração e a difusão de outras inovações. A cumulatividade do aprendizado produtivo reforça o caráter tácito e específico do conhecimento, o que permite a certos produtores obter vantagens regionais. A inovação tecnológica visa a ampliação da capacidade de produção da terra e do trabalho, sendo a sua dinâmica propulsora de oportunidades tecnológicas.

⁵⁵ Sob um enfoque regional, CASSIOLATO & LASTRES (2003, p.27) propõem que “Sistemas produtivos e inovativos locais são aqueles arranjos em que interdependência, articulação e vínculos consistentes resultam em interação, cooperação e aprendizagem, com potencial de gerar o incremento da capacidade inovativa endógena, da competitividade e do desenvolvimento local”.

A capacidade gerencial do agricultor é fundamental no processo de exploração das vantagens competitivas e dos ganhos produtivos do conhecimento tecnológico. A experiência e o aprendizado do produtor no uso da nova tecnologia não apenas reduzem o risco ligado ao fator exógeno (adversidades climáticas, variabilidade geográfica e surgimento de novas pragas e doenças) como também redirecionam as trajetórias mais amplas do segmento fornecedor, através de um efeito de *feedback* que adapta e melhora a tecnologia à diversidade ambiental e às necessidades dos produtores. O processo de aprendizado (via experimentação) está associado à absorção do novo conhecimento e não somente à adequação de elementos tácitos no emprego deste conhecimento ou da tecnologia na unidade produtiva.

A nova tecnologia pode corresponder a um novo insumo ou uma nova regra de combinação dos insumos antigos (um novo tipo de conhecimento). Nem toda tecnologia está cristalizada nos insumos, ou seja, a tecnologia não é totalmente embarcada e os elementos tácitos associados ao uso tecnológico são essenciais ao processo de crescimento. Conforme exposto por SCHULTZ (1964), a tecnologia usada na produção é uma componente dos insumos modernos empregados, levando em consideração o agente humano, que é dotado de conhecimento (*know-how* ou instrução). A combinação dos insumos modernos com o conhecimento constitui uma parte integrante dos fatores de produção.

Para compreender o complexo arranjo produtivo na agricultura, em termos da interdependência setorial e do processo de inovação, aprofunda-se o conhecimento das especificidades do regime tecnológico agrícola. Não menos importante, deve-se contextualizar cada especificidade numa perspectiva histórica, já que o conhecimento é cumulativo ao longo do tempo. A constituição da trajetória tecnológica é moldada pela interação entre a pesquisa básica e a aplicada, sendo mais intensa, num primeiro momento, nos conhecimentos fundamentais e, posteriormente, nas soluções dos problemas de natureza técnica.

As principais transformações da trajetória tecnológica na agricultura tiveram início há cerca de 200 anos⁵⁶. Entretanto, somente em meados do século passado estas transformações puderam, de fato, alterar significativamente a produtividade agrícola⁵⁷. Em termos gerais, até o ano de 1900, a produção agrícola era organizada de forma manual e com técnicas rudimentares de cultivo. Em 1920, técnicas mais refinadas foram introduzidas. Por volta da década de 40, as indústrias de produtos químicos e de veículos automotivos beneficiaram-se dos avanços científicos e tecnológicos originados por um aglomerado de inovações, seja em torno do motor a combustão interna ou mesmo pelo crescimento da indústria petroquímica (uma substituição da matriz energética dos produtos químicos orgânicos, cuja matéria-prima era o carvão, pelos baseados em petróleo e gás natural).

Anos mais tarde (meados da década de 50), tem-se o aparecimento de uma indústria farmacêutica, um setor importante e diferenciado da indústria química, apoiado por um relativo desenvolvimento dos conhecimentos de base. Em seguida, foram estabelecidas as condições para o surgimento da biotecnologia que, na área agrícola, propiciou o uso de sementes híbridas e melhoradas. O crescimento da moderna indústria de biotecnologia se inicia nos anos 70 com o desenvolvimento da biologia molecular e se firma, em meados da década de 90, com a manipulação genética de plantas e organismos vivos.

De forma esquemática, pela FIG.6, pode-se definir uma ampla trajetória tecnológica, a qual envolve as fases do desenvolvimento agrícola. O eixo vertical esquerdo mostra o aumento da produtividade, que pode ser baixo, médio ou elevado. O eixo horizontal determina, em termos de conteúdo tecnológico, que pode ser uma medida da combinação eficiente de insumos, o grau de

⁵⁶ É interessante perceber que alguns dos avanços tecnológicos na agricultura foram desenvolvidos somente após a publicação da última edição do *Ensaio sobre a população* (1798) de Thomas Robert Malthus, em 1826. As estatísticas não confirmaram a tese malthusiana, seja no crescimento da população ou mesmo na produção de alimentos. De um lado, o uso de métodos anticoncepcionais, já consagrados no final do século XIX, propiciou uma redução significativa do crescimento populacional. Por outro, na primeira metade do século XX, conforme estudo da FAO (2000), a introdução de técnicas mais refinadas de cultivo e tratamento do solo, bem como, posteriormente, as descobertas de adubos químicos e de grãos híbridos permitiram um notável crescimento da produtividade agrícola.

⁵⁷ Cf. MOWERY & ROSENBERG (2005).

modernização agrícola, variando do conteúdo restrito (agricultura tradicional, no caso) ao intenso (produtor moderno)⁵⁸. Finalmente, no eixo vertical à direita, situam-se os principais aglomerados de inovações tecnológicas na agricultura, tais como as revoluções químicas, mecânicas e biotecnológicas.

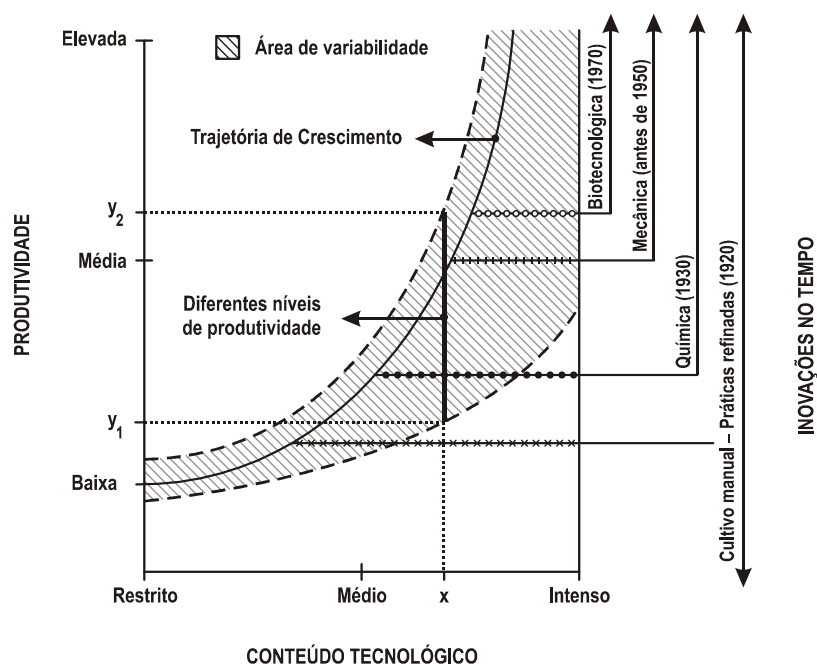


FIGURA 6 – Conteúdo tecnológico, produtividade e principais inovações da agricultura situadas no tempo.

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a representação esquemática da ampla trajetória tecnológica na agricultura, percebe-se que o crescimento agrícola se deveu fundamentalmente aos principais *clusters* de inovações tecnológicas nos últimos 60 anos. Vale ressaltar que, para um dado conteúdo tecnológico (x), dentro da área de variabilidade, é possível alcançar diferentes níveis de produtividade, os quais variam de y_1 a y_2 . Embora o conteúdo tecnológico seja o mesmo, o estoque de conhecimento de cada produtor é decisivo no desempenho produtivo final. Quanto mais próxima de y_2 a produtividade, o estoque de conhecimento é máximo. Se a produtividade estiver baixa (ou próxima de y_1), o agricultor possui

⁵⁸ Quanto maior for a intensidade do conteúdo tecnológico, maior será a capacidade do agricultor de inovar.

baixa capacidade de absorção e reduzido estoque de conhecimento. O investimento produtivo possui duas funções importantes. A primeira visa aumentar o grau de conteúdo tecnológico, o que expande, por sua vez, o segmento de reta que representa os diferentes níveis de produtividade. A segunda função se associa à parcela do investimento destinada ao aumento da capacidade de absorção de conhecimento externo. Ao ampliar tanto o conteúdo tecnológico quanto a capacidade de absorção, por meio do gasto em investimento, o agricultor estaria, assim, mais habilitado a alcançar uma maior produtividade dentre todas as possíveis.

O produtor deve adaptar o conteúdo tecnológico em uma combinação mínima adequada de insumos. A revolução tecnológica isolada do processo de aprendizado não garante o aumento da produção nem o uso eficiente do conteúdo tecnológico. A moderna agricultura, ao longo desta trajetória, incorporou as inovações químicas, potencializando o uso das inovações mecânicas. As inovações biotecnológicas, por sua vez, podem condicionar as trajetórias químicas e mecânicas. Assim, a bioquímica, a biologia molecular e a genética constituem áreas do conhecimento fundamentais ao fomento da moderna agricultura.

A seleção de variedades de sementes sensíveis à aplicação de fertilizantes e de defensivos é um exemplo de interdependência das trajetórias inovativas. A indústria química, devido às suas características, favorecia a introdução constante de inovações incrementais, o que propiciava uma redução do custo da fertilização do solo e da prevenção contra pragas e doenças. Além do mais, a adoção de sementes de elevado rendimento estava vinculada aos custos decrescentes dos fertilizantes e dos defensivos. Ao deslocar os preços relativos dos insumos, as inovações incrementais da indústria química definiram caminhos de dependência como também trajetórias específicas do desenvolvimento biotecnológico. Outro exemplo foi o desenvolvimento de variedades passíveis de colheita mecânica, como o tomate com casca mais resistente e com o amadurecimento numa mesma época. O progresso tecnológico depende de uma série de avanços simultâneos, tanto em inovações biológicas quanto em mecânicas, já que esta última se adapta às características da primeira. Neste

caso, o esforço de pesquisa biológica foi conjunto ao desenvolvimento das pesquisas de engenharia mecânica⁵⁹.

O crescimento e o desenvolvimento econômico podem ser entendidos em termos de dotações favoráveis de recursos naturais. A mudança tecnológica é condicionada pelos recursos essenciais à industrialização. O petróleo não seria explorado, se não houvesse tecnologia de extração mineral. O forno elétrico converteu a bauxita em um metal de alto valor econômico e, em mesmo período, transformou automóveis sucateados em fonte de aço a baixo custo. Na química avançada, foi possível fixar nitrogênio atmosférico em fertilizante agrícola. Ainda na agricultura, parte do crescimento deveu-se, principalmente, ao uso de insumos químicos, incluindo tanto os fertilizantes sintéticos à base de nitrogênio quanto os herbicidas e inseticidas⁶⁰. O automóvel mudou a organização da vida urbana e o trator dinamizou o trabalho no campo.

Enfim, conforme o estudo de MOWERY & ROSENBERG (2005), os recursos naturais adquirem valor econômico somente a partir do desenvolvimento de capacidades tecnológicas, que são construídas por um ambiente institucional e pela acumulação do conhecimento em distintos segmentos. Tais autores mostraram que o crescimento econômico americano nos séculos XIX e XX se deu em torno, basicamente, de alguns grandes setores econômicos: do metal-mecânico, juntamente com a evolução da indústria automobilística e aeronáutica, dos produtos químicos, do segmento de energia elétrica e da eletrônica, a partir dos anos 60⁶¹.

PAVITT (1984) e BELL & PAVITT (1993) destacaram que os padrões de inovação variam em diferentes mercados e setores industriais. Por meio de uma

⁵⁹ Cf. MOWERY & ROSENBERG (2005); SILVEIRA, BORGES & FONSECA (2007); ACHILLADELIS, SCHWARZKOPF & CINES (1987); HAYAMI & RUTTAN (1988) e SILVEIRA (1985).

⁶⁰ Em ACHILLADELIS, SCHWARZKOPF & CINES (1987), tem-se uma análise da inovação na indústria de pesticidas de 1930 a 1980.

⁶¹ Para um estudo dos setores metal-mecânico, químico, de energia elétrica e eletrônico, vide MOWERY & ROSENBERG (2005). Quanto à indústria química em separado, busque ACHILLADELIS, SCHWARZKOPF & CINES (1990). Em DOSI (1984), encontra-se uma completa análise do segmento de semicondutores. Em relação à agricultura, confira SAHAL (1981a, 1981b e 1985). Para a indústria de sementes, SILVEIRA (1985) enfatiza uma boa análise. No que se refere a um estudo revisitado da biotecnologia, tem-se SILVEIRA, BORGES & FONSECA (2007).

avaliação empírica setorial, tais autores observaram as regularidades nas características das firmas inovadoras e procuraram definir uma taxonomia explicativa das trajetórias tecnológicas de cada segmento. No que se refere à classificação dos negócios das firmas, foram estabelecidos cinco tipos: (i) dominado pelos fornecedores – indústria têxtil e agricultura; (ii) intensivo em escala – setor siderúrgico, indústria de bens duráveis, segmento automobilístico e engenharia e construção civil; (iii) intensivo em informação – setor bancário e financeiro, mercado editorial e publicitário, turismo; (iv) baseado em ciência – segmento químico e indústria eletrônica; e (v) fornecedores especializados – indústrias de bens de capital, de instrumentos e de *software*.

A especificação da agricultura como um setor *dominado pelos fornecedores* não se encaixa na complexidade das transformações ocorridas, ao longo dos últimos 50 anos, na indústria química, mecânica e biotecnológica. Observa-se que o processo de intensificação dos insumos produtivos na agricultura não serviu unicamente aos interesses do segmento fornecedor, mas fundamentalmente ao crescimento dos arranjos produtivos entre a agricultura e a indústria. A inovação tecnológica dentro da agricultura não se resume apenas em um único tipo da taxonomia de PAVITT (1984) e de BELL & PAVITT (1993), mas praticamente em toda a classificação. A principal crítica ao estudo destes autores é que o mesmo simplifica e padroniza as trajetórias tecnológicas setoriais, enfatizando a interpretação estática de cada um dos setores sem levar em consideração a questão dinâmica, essencial no caso agrícola, já que a tecnologia é gerada em uma gama de segmentos produtivos.

Pela TAB.2, tem-se a constatação empírica da expansão do progresso técnico na agricultura. Numa perspectiva de longo prazo, percebe-se que existe uma trajetória tecnológica responsável pelas transformações do moderno setor agrícola, que se mantém dinâmico no sentido de gerar oportunidades tecnológicas dentro e fora da produção. Nesse sentido, a agricultura não pode ser considerada um setor atrasado e de baixo dinamismo, nem mesmo fundada na tradição e nos subsídios. Em relação aos subsídios, este tipo de política pode até reduzir o impacto do processo de modernização agrícola, em vez de promover algum tipo

de *catching up* tecnológico (redução do diferencial de desenvolvimento entre o atrasado e o moderno). Como exemplo, no caso da União Européia, a manutenção dos subsídios agrícolas colaborou para a perda de dinamismo do agronegócio como um todo.

TABELA 2 – Indicadores do progresso técnico na agricultura entre 1950 e 2000.

Fato Relevante		1950	2000
Pessoas diretamente envolvidas na agricultura (milhões)		700	1300
Números de tratores e colheitadeiras operando (milhões)		7 (60% nos EUA)	28
Área irrigada (milhões de hectares)		80	270
Consumo de fertilizantes (milhões de toneladas)		17	136
Uso de pesticidas (número de ingredientes ativos)		pouca variedade	80: inseticidas 100: fungicidas 150: herbicidas
Rações concentradas de farelo (milhões de toneladas)		30	180
Produtividade (quilograma por hectare)	Trigo	1000	rendimentos dobrados ou triplicados
	Milho	1500	
	Arroz irrigado	1600	
	Cevada	1100	
Produtividade média por animal (litros/ vaca/ ano)		2000	5600

Fonte: Elaboração própria com base no relatório da FAO (2000, p.173-175).

Entre os anos de 1950 a 2000, os dados mostram que o número de pessoas empregadas no setor agrícola quase dobrou de um período para o outro. Em relação ao número de tratores, houve um crescimento maior que 4 vezes, sendo que, em 2000, 4,5 dos 28 milhões eram colheitadeiras, as quais obtiveram um crescimento de 3 vezes entre os dois períodos. A área irrigada aumentou significativamente, passando de 80 milhões de hectares irrigados para 270 milhões. O consumo de fertilizantes aumentou em 8 vezes. Comparando-se o crescimento do consumo de fertilizantes com o ano de 1900, o mesmo cresceu respectivamente 4 e 32 vezes, até os anos de 1950 e 2000. Quanto ao uso de pesticidas, ao final do período, havia uma maior variedade de ingredientes ativos. A produtividade de grãos, medida em quilogramas por área plantada (kg/ha), mais que dobrou no período para todas as culturas. Por fim, a produtividade anual média de litros de leite por animal, especificamente na produção francesa, passou de 2000 para 5600 litros na data de referência.

De 1950 até o final dos anos 90, o rendimento médio do trigo nos Estados Unidos passou de 1100 para mais de 2600 kg/ha, sendo que o uso de fertilizantes minerais foi de 20 a 120 kg/ha de área plantada. Na França, a

produtividade do trigo registrou uma passagem de 1800 a 7100 kg/ha e o uso de fertilizantes sofreu um acréscimo de mais de 5 vezes. Em 2000, nas terras mais férteis da Europa, os rendimentos do trigo e do milho ultrapassam 10000 kg de grãos por hectare, com dosagem de fertilização por hectare da ordem de 200 kg de nitrogênio, 50 kg de fosfato e 50 kg de potássio. É óbvio que, para este crescimento produtivo, foi preciso selecionar variedades de sementes cada vez mais adaptadas à absorção de nutrientes (FAO, 2000).

Não se pode negar que o progresso tecnológico foi extremamente significativo. De qualquer forma, como demonstra NELSON & WINTER (1982) e METCALFE (2002), a busca por estratégias inovativas se insere num ambiente de competição, sendo o mercado responsável por um mecanismo de seleção⁶². Ao analisar a produção agrícola sob uma ótica concorrencial, é necessário compreender de que forma a nova técnica será difundida entre os produtores. A difusão de uma tecnologia é acompanhada de várias transformações importantes no seu projeto. O desempenho tecnológico depende do tamanho e da estrutura da unidade produtiva e de que forma a tecnologia se adapta a tal estrutura ou organização produtiva. Uma ampla variedade de inovações consiste em superar, pelo aprendizado, as limitações que resultam de um processo de dimensionamento da tecnologia em questão. A mudança tecnológica é melhor caracterizada como um processo de aprendizagem pela escala (*learning by scaling*) (SAHAL; 1981a, 1981b e 1985).

Como exemplo, parte do crescimento da produtividade agrícola foi realizada por melhoramentos da eficiência dos combustíveis (aumento da potência para um dado peso) e por uma maior velocidade das maquinarias e tratores empregados⁶³. Inicialmente, o trator foi introduzido no intuito de substituir a força animal pela mecânica. Ao longo do tempo, o propósito original foi se alterando substancialmente, ficando evidente que o projeto do trator foi largamente moldado pelo sistema de produção agrícola. Nesse sentido, um dos determinantes-chave

⁶² Esta análise, para o caso agrícola, é corroborada por POSSAS, SALLES-FILHO & SILVEIRA (1996), BUAINAIN & SILVEIRA (2002) e VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005).

⁶³ Em FONSECA (1990), propõe-se um debate acerca do progresso técnico e da concorrência no segmento de máquinas agrícolas, procurando enfatizar as trajetórias e oportunidades tecnológicas.

das inovações nos tratores foi o tamanho das fazendas. Em resumo, mudanças na escala tecnológica de operação constituem importantes características indutoras da inovação, ou seja, um simples desenvolvimento da tecnologia dos tratores é influenciado pelo tamanho das unidades produtivas.

Pela FIG.7, observa-se que o desempenho tecnológico da mecanização ao longo do tempo é dependente do tamanho e da estrutura da unidade de produção. A mecanização agrícola foi dividida em cinco estágios, tendo o conteúdo tecnológico aumentado significativamente na escala de I a V. É interessante notar que cada etapa da mecanização foi traduzida por um crescimento da superfície cultivada (ou do número de animais por trabalhador nos estágios inferiores) bem como pelo aumento da produtividade, a qual se associa, paralelamente, aos avanços químicos e biológicos.

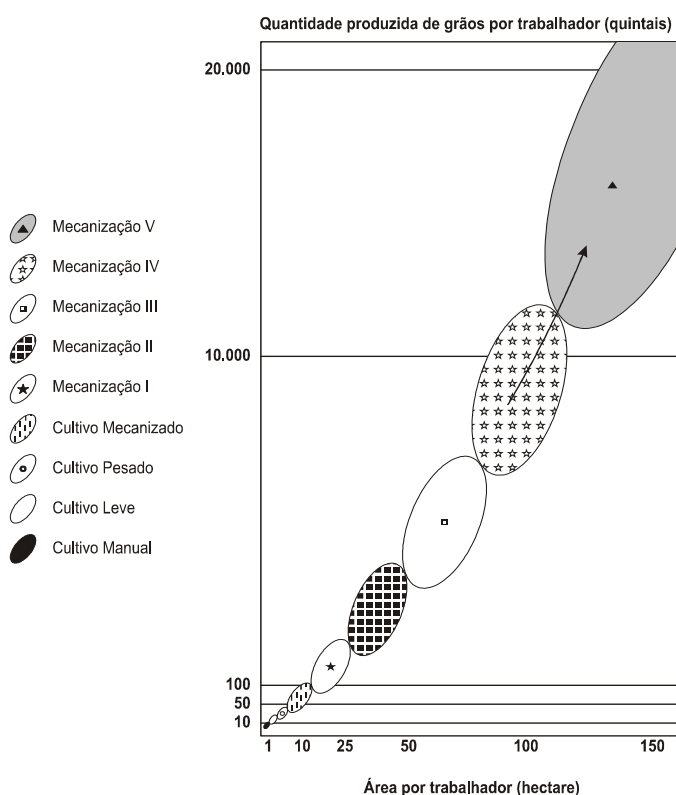


FIGURA 7 – Etapas do desenvolvimento dos equipamentos e da mecanização na produção de cereais (em quintais)*.

Fonte: Adaptado de FAO (2000, p.178)

Obs: (*) 1 quintal $\cong$ 45 a 50 quilogramas.

A mecanização foi desenvolvida precocemente em alguns cultivos, antes mesmo do primeiro estágio se iniciar. Os cultivos de grande porte de cereais e grãos (cevada, milho, trigo, soja, café, girassol e algodão) foram primeiramente beneficiados, sendo também condutores do movimento expansivo mais recente. De fato, a ocupação produtiva em grande escala definiu algumas trajetórias tecnológicas na indústria de máquinas e equipamentos. A mecanização foi seguida de uma maior padronização da colheita, principalmente na produção de alimentos pesados e volumosos, mais difíceis de serem transportados. Em seguida, ganhou-se espaço para o uso mecânico no trato do gado leiteiro, na produção animal, na colheita de forragens, no setor sucroalcooleiro e nas culturas de legumes e frutas.

O primeiro estágio (Mecanização I) iniciou-se pouco antes dos anos 50, sendo as propriedades agrícolas maiores de 15 ha por trabalhador com o uso de tratores menos potentes (de 10 a 30 cavalos). As etapas subseqüentes (Mecanização II, III e IV) surgiram no final dos anos 50, chegando até a década de 80. Além do predomínio de superfícies mais elevadas por trabalhador (50, 80 e 100 ha), teve-se a adoção de máquinas e tratores com potência crescente (variando, respectivamente, entre 30 a 50, 50 a 75 e 75 a 120 cavalos) e de uso diversificado, seja no manejo do solo, no plantio e na colheita. Por fim, o quinto estágio (Mecanização V) se deu na década de 90 com força mecânica acima de 120 cavalos de potência e áreas plantadas superiores a 200 ha por trabalhador.

A tecnologia dos tratores foi definida por um processo de evolução gradual. Muitos dos avanços foram originados na solução de problemas específicos da produção e do projeto das máquinas, enquanto outros avanços se restringiram a certos usos das próprias máquinas no setor agrícola. Em ambos os casos, o avanço depende da acumulação de experiência e de conhecimento. Os pontos de estrangulamentos de conhecimento permitem a identificação de novas avenidas do progresso técnico⁶⁴. Segundo SAHAL (1985, p.71),

⁶⁴ Em SAHAL (1985), além dos tratores e máquinas agrícolas, são estudados dois outros casos setoriais (a indústria da aeronáutica e a de informática e computadores). O arcabouço de análise discutido nestes três casos investiga os determinantes da inovação tecnológica ligados às questões da especialização via escala produtiva e do aprendizado ao longo do tempo.

(...) the process of technological development within any given field leads to the formation of certain pattern of design. The pattern in turn guides the subsequent steps in the process of technological development. Thus innovations generally depend upon bit-by-bit modification of an essentially invariant pattern of design. This basic design is in the nature of a technological guidepost charting the course of innovative activity. (...) technical advances (...) are expected to occur in a systematic manner on what may be called innovation avenues that designate various distinct pathways of evolution.

A diversidade dos produtores em termos de estratégias, estrutura e núcleo de competências determina microfundamentos que conduzem a mudanças econômicas num processo macroeconômico, que envolve um aglomerado de inovações. Como sugerido por POSSAS, SALLES-FILHO & SILVEIRA (1996, p.939), “(...) *the interpretation of technological trajectories and of the formation of a technological regime in agriculture should be made on the basis of the notion of problem areas*”. O conhecimento é subdividido em partes codificadas e outras tácitas. O aspecto coletivo do conhecimento inclui o conhecimento codificado, que pode ser facilmente compartilhado com outras habilidades técnicas bem como resolver problemas mais gerais de engenharia. Isso conduz ao que se chama de *trajetória natural*, *tecnologias genéricas* e *paradigmas*, sendo tais conceitos usados na explicação do “porquê” tecnologias alternativas tendem a se concentrar em áreas similares⁶⁵.

A inovação tecnológica, mesmo em setores intensivos no uso de recursos naturais, o que é o caso da agricultura, é capaz de promover o crescimento e, ao mesmo tempo, definir os rendimentos marginais crescentes⁶⁶. Neste ponto, é importante distinguir o papel da inovação no processo de criação das vantagens comparativas dinâmicas. O raciocínio da renda da terra estática e natural não se aplica, já que a construção de tais rendas se deve a um mecanismo de aprendizado e de sucessivas mudanças tecnológicas ao longo do tempo. Como visto por DOSI (1988, p.1138), “(...) *Mechanization, chemical fertilizers and*

⁶⁵ Cf. NELSON & WINTER (1982), DOSI (1984) e MCKELVEY (1998).

⁶⁶ No intuito de abordar os rendimentos crescentes da adoção, FORAY (1989) especifica um modelo de competição tecnológica em que se trata o aprendizado pela experiência, as externalidades de rede, as economias de escala, a difusão crescente de informações e as complementaridades tecnológicas. No que se refere à organização da firma em termos de economias de escala e de escopo, TEECE (1980 e 1996) discute amplamente as habilidades gerenciais na busca por aprendizado e inovações.

pesticides, new breeds of plants and animals and improved techniques of mineral extraction and purification prevented scarcity from becoming the dominant functional feature of these activities”. Assim, o surgimento de novos paradigmas tecnológicos em algumas áreas de concentração do conhecimento, que interagem direta ou indiretamente com os antigos modelos tecnológicos, geralmente impede, num processo de busca por inovações, o estabelecimento de retornos decrescentes. Portanto, além de focar a questão dos retornos crescentes, a concepção da trajetória tecnológica ampliada fornece elementos (teórico e analítico) para a compreensão da dinâmica agrícola.

2.2. Evolução do debate teórico na agricultura: uma revisão crítica

Esta seção procura fazer uma revisão crítica do debate teórico da inovação tecnológica na agricultura. Para tanto, alguns modelos serão discutidos e, posteriormente, analisados. O arcabouço teórico referente à trajetória tecnológica ampliada sinaliza de que maneira o sistema agrícola poderia ser estudado. Em linhas gerais, embora o desenvolvimento tecnológico seja elaborado parcialmente no setor fornecedor de insumos, a dinâmica da produção agrícola influencia no rumo das trajetórias tecnológicas futuras. Além disso, como pressuposto do trabalho, o aspecto concorrencial entre os agricultores segue uma lógica *schumpeteriana* de análise, na qual os agentes buscam, via introdução de novas técnicas produtivas, lucros de monopólios bem como aumento da participação de mercado.

Os estudos aqui enfocados abordam a questão da tecnologia agrícola, discutindo a adoção e difusão tecnológica, a modernização e diversidade do setor agrícola bem como a inovação induzida. A primeira parte apresenta o estudo clássico de GRILICHES (1957) referente à introdução do milho híbrido nos Estados Unidos. A segunda discute o dualismo de PAIVA (1971), numa tentativa de explicar a relação entre um segmento tradicional retardatário e uma moderna agricultura em crescimento. Por fim, será exposto o enfoque teórico de HAYAMI & RUTTAN (1988) da inovação tecnológica induzida, sendo os preços relativos dos

insumos sinalizadores das direções inovativas. Acredita-se que tais estudos forneçam uma visão estática e não dinâmica do processo de inovação tecnológica na agricultura, sendo necessária uma releitura.

A combinação dos modelos de GRILICHES (1957), de PAIVA (1971) e de HAYAMI & RUTTAN (1988) fornece elementos para uma investigação teórica de análise da tecnologia de forma mais detalhada. Embora os referenciais trabalhem com noções de equilíbrio, alguns de seus pontos são interessantes. Apresenta-se o processo de adoção e difusão tecnológica num contexto de diversidade e dualismo econômico. O conceito de inovação induzida procura evidenciar a direção das mudanças tecnológicas (no intuito de especificar algumas trajetórias de viés), as quais possam economizar fator escasso. A grande limitação microeconômica destes autores, *op. cit.*, é que a versão apresentada dos seus estudos ignora alguns importantes mecanismos internos, sejam o processo de aprendizado (cumulativo no tempo), a busca de diferenciação e estratégias competitivas e o processo formal de pesquisa e desenvolvimento.

2.2.1. Adoção e difusão tecnológica na agricultura

Os estudos de GRILICHES (1957) e de MANSFIELD (1961) tentaram identificar as regularidades empíricas dos caminhos da difusão tecnológica, tipicamente representadas por curvas logísticas⁶⁷. Na abordagem epidemiológica de MANSFIELD (1961), a difusão é geralmente puxada pelas expectativas de ganhos produtivos de uma inovação e conduzida por uma progressiva disseminação de informações sobre a técnica e as características econômicas. Então, a difusão é interpretada como um processo de ajuste de algum equilíbrio de longo prazo através da capacidade de aprendizado dos potenciais usuários da tecnologia⁶⁸.

⁶⁷ Para uma boa resenha e explicação dos modelos de difusão tecnológica baseados em curva logística, conferir GEROSKI (2000).

⁶⁸ SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) identificam na literatura econômica três abordagens básicas sobre a difusão: i) os modelos epidemiológicos – GRILICHES (1957) e MANSFIELD (1981); ii) os modelos de difusão equilibrada – DAVID (1969), DAVIES (1979) e STONEMAN & IRELAND (1983) – apenas para algumas citações, *apud*. SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO

Em GRILICHES (1957), tem-se por objetivo analisar em quais circunstâncias a tecnologia é gerada e propagada na agricultura americana em meados do século passado. As pesquisas agronômicas relativas ao desenvolvimento do milho híbrido nos Estados Unidos foram iniciadas no começo do século XX; porém, a primeira aplicação em escala comercial data dos anos 30. Desde então, a semente híbrida se difundiu rapidamente pelo território americano, especificamente nos Estados de Iowa, Wisconsin, Kentucky, Texas e Alabama (região chamada por “Cinturão do Milho”, devido à posição de destaque na produção agrícola de milho).

A adoção da semente híbrida não deve ser analisada apenas como uma introdução simples de um insumo produtivo imediatamente adaptável às condições de cada região. Por detrás das diferentes taxas de adoção da semente híbrida pelos agricultores, é válido explicar as diferenças de desenvolvimento regional em termos de aceitação e viabilidade produtiva. Pela FIG.8, tem-se o percentual médio de milho plantado com semente híbrida por região ao longo do tempo.

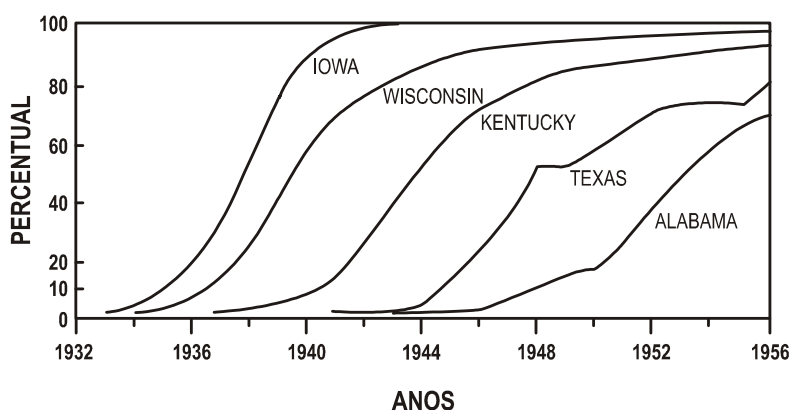


FIGURA 8 – Percentual médio de milho plantado com semente híbrida nos Estados Unidos de 1932 a 1956.

Fonte: GRILICHES (1957, p.502).

(1988); e iii) os modelos evolucionários – IWAI (1981a e 1981b), NELSON & WINTER (1982), SIVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e METCALFE (2002).

Conclui-se que a adoção tecnológica, neste caso, segue a uma taxa de crescimento exponencial num primeiro momento e, subsequente, o crescimento se dá por meio de taxas marginais decrescentes. Cabe observar que este movimento não é delineado ao longo de pontos de equilíbrio, os quais podem ou não se alterar ao longo do tempo. Entretanto, o caminho de ajuste se move, consistentemente, de um ponto inicial para uma nova posição de equilíbrio. As novas variedades são adaptadas a alguns nichos regionais.

Embora a produção da semente híbrida tenha sido desenvolvida em termos da ciência básica (em que a contrapartida moderna é a biotecnologia com amplo conhecimento generalizado), existem várias especificidades e restrições geográficas, as quais são menores no Estado de Iwoa e mais intensas no do Alabama⁶⁹. Portanto, as sementes são mais adaptadas ao primeiro do que ao segundo Estado, tendo este último uma introdução tecnológica mais atrasada e uma taxa de adoção menos acelerada. Para uma exemplificação, os produtores de Iwoa que adotaram a nova tecnologia, ao longo de 4 anos, passaram de 10 a 90% do total. Em outras regiões de menores produtividades, este ajuste se processa de forma mais lenta ao longo do tempo.

A função logística de crescimento é uma formulação algébrica que melhor se ajustou aos dados por estado e produção com o uso de sementes híbridas, reduzindo-se as diferenças regionais em três parâmetros estimados (data da primeira disponibilidade comercial – *origins*, taxa de adoção tecnológica – *slopes* e teto potencial de agentes inovadores – *ceilings*). A curva logística⁷⁰ é definida por:

$$P = \frac{K}{1 + e^{-(a+b.t)}} \quad (51)$$

⁶⁹ Conforme relatório da FAO (2000, p.254), “(...) cet « effet Alabama » s’est fait sentir dans tous les pays en développement. Les pays dépourvus de capacité de recherche d’adaptation n’ont pas tiré grand bénéfice des technologies créées à l’étranger”. Em outros termos, através do enfoque de COEHN & LEVINTHAL (1989 e 1990), este *efeito Alabama* se faz presente nas regiões em que os agricultores são desprovidos de adequada capacidade de absorção.

⁷⁰ A curva logística é aqui apresentada, pois, como se verá no capítulo seguinte, o caráter estático dos parâmetros se torna dinâmico ao incluir a diferenciação dos agentes (inovadores e imitadores) bem como ao incorporar a capacidade de absorção de conhecimentos externos. Em TRIGO *et al.* (2002), tem-se algumas simulações para diferentes taxas de adoção e para distintos tetos potenciais, em diagnósticos e prognósticos da transferência de tecnologia agrícola.

sendo P o percentual plantado com semente híbrida, K o teto potencial de agentes inovadores (um valor de equilíbrio), t a variável tempo, b a taxa de adoção ou coeficiente de crescimento, e a uma constante de integração que posiciona a curva numa escala do tempo.

Tal função possui algumas propriedades interessantes: a curva é assintótica em 0 e K , simétrica ao redor do ponto de inflexão e a derivada primeira em relação ao tempo é dada por $\partial P / \partial t = -b / (P/K)(K - P)$. Como os valores de b dependem fortemente do teto K , no intuito de uma comparação regional, os b 's devem ser ajustados para diferenças no K . Se $a + b.t$ tender a $+\infty$, a taxa de adoção é máxima e tenderá a K , ou ao teto potencial. Se o contrário ocorrer, $a + b.t$ tender a $-\infty$, o coeficiente de crescimento será mínimo. Quando $a + b.t = 0$, a curva logística encontra-se no ponto de inflexão. A taxa de crescimento é proporcional ao crescimento já alcançado e ao teto potencial de inovadores⁷¹.

Os resultados mostraram que o uso de milho híbrido é largamente guiado pela expectativa dos ganhos de produtividade e que as regiões pioneiras no uso da semente foram as mais beneficiadas, o que indica uma vantagem dos agentes que saem na frente na corrida tecnológica. Quanto maior a eficiência da tecnologia em produzir retornos, maior será a taxa de adoção. Diferenças nas taxas de adoção são relacionadas à produtividade da semente híbrida bem como à imperfeição do conhecimento. Quanto maior a transformação produtiva da tecnologia, maior será a preocupação do gerente agrícola em buscar o novo conhecimento e informação. A data da primeira disponibilidade comercial é determinada pelo lado da oferta, enquanto que a taxa de adoção é relativa às condições de demanda e explicada por diferentes produtividades em distintas regiões.

⁷¹ Para estimar os parâmetros, GRILICHES (1957) escolheu o método de transformação da função logística numa equação linear em a e b . Dividindo a equação por $(K - P)$ e tirando o logaritmo, tem-se uma transformação linear, $\log_e [P / (K - P)] = a + b.t$, que permite estimar os parâmetros pelo método dos mínimos quadrados.

O teto potencial de usuários é interpretado como o percentual de plantações híbridas num equilíbrio de longo prazo. As diferenças no percentual em que o uso de sementes híbridas se estabilizará são o resultado de longo prazo da procura de fatores. É assumido, então, que as condições de oferta de sementes, no longo prazo, são as mesmas em todas as regiões, o mesmo percentual aumenta a produtividade entre as variedades convencionais (ou de polinização aberta) ao mesmo preço relativo. Entretanto, a mesma superioridade técnica deve significar diferenças múltiplas em várias regiões. Embora GRILICHES (1957) reconheça que potencial de usuários mude ao longo do tempo em certas regiões, numa primeira aproximação, tal autor ignorou o problema, já que estudou a adoção do milho híbrido nas áreas mais produtivas dos Estados Unidos.

Não há dúvida da relevância do trabalho de GRILICHES (1957); porém, podem-se fazer algumas críticas quanto à relativa estabilidade dos parâmetros do processo de difusão tecnológica. Algumas dessas críticas já foram apontadas na última nota de rodapé do estudo deste autor, em que uma das explicações da baixa taxa de adoção tecnológica estaria ligada ao resultado de alguns fatores econômicos, variáveis de impacto sociológico. No que concerne à referida nota,

In this context one may say a few words about the impact of sociological variables. It is my belief that in the long run, cross-sectionally, these variables are the major determinants of the pattern of technological change. This does not imply that the sociological variables are not important if one wants to know which individual will be first or last to adopt a particular technique, only that these factors do not vary widely cross-sectionally. Partly this is a question of semantics. With a little ingenuity, I am sure that I can redefine 90 per cent of the sociological variables as economic variables. Also, some of the variables I used, e.g., yield of corn and corn acres per farm, will be very highly related cross-sectionally to education, socio-economic status, level-of-living, income, and other sociological variables. That is, it is very difficult to discriminate between the assertion that the slow acceptance was due to poor people. Poor people and poor corn are very closely correlated in the U.S. Nevertheless, one way find a few areas where this is not so. Obviously, the slow acceptance of hybrids on the western fringes of the Corn Belt, in western Kansas, Nebraska, South Dakota, and North Dakota was not due to poor people, but the result of economic factors, poor corn area and vice versa⁷². (GRILICHES, 1957: 522)

⁷² Apenas para o grifo desta citação, cf. GRILICHES (1980, p.1464). Veja que o autor se sente na obrigação de escrever uma nota técnica, passados 24 anos da publicação de seu estudo, o que não é usual na academia. Porém, dada a repercussão dos seus resultados, esta resposta foi permitida.

O debate em torno do trabalho de GRILICHES (1957) perdurou por bastante tempo. Uma resposta às críticas apresentadas ao longo deste período em relação ao método de análise da difusão do milho híbrido foi publicada em GRILICHES (1980). Ao fazer uma reavaliação do seu estudo, o autor reespecificaria em seu modelo original as transformações do teto potencial de usuários ao longo do tempo (já que tal parâmetro não é constante e pode, perfeitamente, ser endógeno na função logística), algo que, em certa medida, é objeto de estudo da presente tese.

O processo de difusão enfatiza o papel do tempo e das informações numa transição de uma tecnologia para o consumo e produção de outra. Uma vez que grande parte dos dados interessantes é não observável, o tempo é visto como uma *proxy* em pelo menos três conjuntos distintos de força: i) na redução do custo no tempo, como resultado do processo de aprendizado e dos avanços cumulativos do conhecimento tecnológico; ii) no montante depreciado de capital; e iii) na difusão das informações ou conhecimento, evidenciando a capacidade e a produtividade de cada indivíduo (GRILICHES, 1980).

Como pode ser entendido, apenas o terceiro conjunto foi objeto de análise do que se convencionou chamar de variáveis sociológicas ou econômicas. Quanto aos outros dois conjuntos de forças, trabalhos mais recentes e que seguem a abordagem evolucionária podem trazer explicações de como o teto muda ao longo do tempo. A difusão de novas técnicas ou novos produtos pode ser vista em condições de incerteza, racionalidade limitada e endogeneidade das estruturas de mercado como um processo desequilibrado, como amplamente estudado por IWAI (1981a e 1981b), NELSON & WINTER (1982), SIVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e METCALFE (2002).

2.2.2. Modernização e dualismo tecnológico

As aglomerações econômicas propiciam vantagens locacionais e ganhos advindos da proximidade de um centro de crescimento, no qual a atmosfera industrial cria um ambiente receptivo às inovações e empreendimentos

(em outros termos, economias externas *marshallianas*). No sentido geográfico, o crescimento é apresentado de forma desequilibrada. Há, portanto, um desenvolvimento dual entre regiões progressivas e atrasadas, sendo o progresso explicado pelo crescimento industrial⁷³.

É com base no argumento de pólos de crescimento que a análise sobre o setor agrícola em PAIVA (1971) se fundamenta. Contudo, embora haja a idéia clara de diversidade entre os agentes, a visão da agricultura como um setor retardatário em relação à indústria é ponto fundamental para explicar o auto-ajuste setorial, constatação que será percebida com a apresentação do modelo. Além disso, o progresso técnico agrícola é visto de forma exógena ao crescimento e desenvolvimento econômico.

Em PAIVA (1971), tem-se um debate da questão tecnológica, especificamente na convivência de dois tipos de agricultura – uma tradicional e outra moderna⁷⁴. Nos países em desenvolvimento, existem agricultores com alto desenvolvimento tecnológico, que empregam modernas técnicas recomendadas pelos centros de experimentação e pesquisa, bem como agricultores em estágio de desenvolvimento atrasado, que mantêm baixos níveis de adoção e conhecimento tecnológico.

A diversidade se dá no nível tecnológico entre os agricultores, as regiões e os produtos. Neste último, podem-se encontrar três classes de produtos numa mesma região. A primeira classe representaria produtos em que a grande parte dos agricultores utiliza técnicas modernas, não havendo espaço aos agricultores com técnicas tradicionais. A segunda classe, inversamente à primeira, seria de produtos em que a maior parcela dos produtores emprega técnicas tradicionais, sem o interesse da entrada de agricultores modernos nesse segmento. Por fim, na classe onde se encontra o maior número de produtos, tem-se a coexistência de agricultores modernos e tradicionais.

⁷³ Cf. PERROUX (1977) e HIRSCHMAN (1977) para uma discussão clássica do conceito de *pôle de croissance* (pólos de crescimento).

⁷⁴ O modelo sobre dualismo tecnológico apresentado por PAIVA (1971) foi objeto de diversos comentários, sendo dois destes de relativa importância – NICHOLLS (1973) e SCHUH (1973), que foram posteriormente avaliados por PAIVA (1973). Após amplo debate acerca de seu estudo, PAIVA (1975) faz uma síntese das principais idéias criadas em torno das questões tecnológicas na agricultura e de seu próprio modelo.

No modelo de dualismo tecnológico, existem dois grupos de variáveis. O primeiro que diz respeito à qualificação dos produtores (conhecimentos técnicos, disponibilidade de recursos, capacidade gerencial, acesso ao financiamento, etc.); e o segundo referente aos preços dos fatores (ou insumos produtivos) e dos produtos, além de considerar as distâncias dos mercados, o custo do transporte, a facilidade de armazenamento e a eficiência da comercialização. Tanto a qualificação quanto o preço dos insumos e produtos explicam, embora não completamente, grande parte das distorções entre os agricultores e as regiões. Quanto às diferenças entre produtos, nada se infere a partir destes dois grupos de variáveis.

O processo de modernização da agricultura é analisado tanto na fase de adoção quanto na de difusão tecnológica. A adoção se caracteriza pela escolha do agricultor em usar ou não técnicas modernas, sendo a tomada de decisão uma análise microeconômica. A difusão, ao contrário, caracteriza-se por um processo mais amplo que leva em consideração os resultados agregados da adoção, sendo, portanto, um estudo do ponto de vista macroeconômico.

Quanto ao processo de adoção, a técnica moderna se mostra mais rentável do que a tradicional, no momento em que a diferença entre a receita total e os custos produtivos⁷⁵ for mais elevada do que a técnica tradicional. Em termos algébricos, a substituição de uma técnica moderna por uma tradicional se daria quando atendida a seguinte condição:

$$(P_q \cdot Q^m) - (P_x^m \cdot X^m) > (P_q \cdot Q^t) - (P_x^t \cdot X^t), \quad (52)$$

sendo Q^m a quantidade produzida com a técnica moderna, Q^t a quantidade obtida com técnica tradicional, X^m a quantidade de insumos modernos, X^t a quantidade de insumos tradicionais, P_q o preço do produto, P_x^m o preço dos insumos modernos e P_x^t o preço dos insumos tradicionais.

⁷⁵ Nesta observação, vale lembrar que os custos fixos são iguais a zero, ou idênticos entre as duas técnicas. A ótica do rendimento líquido foi incluída por PAIVA (1975), após tomar nota do modelo de inovação induzida do início da década de 70, reproduzido em HAYAMI & RUTTAN (1988). De qualquer maneira, GRILICHES (1957) já havia colocado ênfase na lucratividade da mudança do milho de polinização aberta para o milho híbrido, de forma a explicar o crescimento diferenciado da taxa de adoção e da disponibilidade produtiva de variedades localmente adaptadas pelas firmas fornecedoras.

Para uma simplificação, agregam-se insumos modernos (máquinas, fertilizantes, defensivos, benfeitorias, etc.) em uma única variável (X^m), assim como insumos tradicionais (terra e trabalho) em outra (X^t). Ocorre que um agricultor utiliza uma combinação mínima de técnicas modernas e tradicionais. Quando o agricultor for considerado moderno, o mesmo utiliza relativamente mais técnicas modernas do que tradicionais. Se o contrário ocorrer, as técnicas modernas serão preteridas às tradicionais; então, o agricultor será considerado como tradicional. Neste sentido, a relação renda líquida é dada por:

$$(P_q \cdot Q^m) - \left(\sum_{i=1}^n P_{xi}^m \cdot X_i^m + \sum_{j=1}^{l'} P_{xj}^t \cdot X_j^t \right) > (P_q \cdot Q^t) - \left(\sum_{i=1}^{n'} P_{xi}^m \cdot X_i^m + \sum_{j=1}^l P_{xj}^t \cdot X_j^t \right), \quad (53)$$

sendo $n > n'$ e $l > l'$, em proporção a ser definida.

Diante do que foi apresentado, a vantagem econômica da técnica moderna em relação à tradicional depende de 3 relações: i) a comparação entre as produtividades por insumos $(Q^m/X^m)/(Q^t/X^t)$, sendo o aumento (ou a redução) da produtividade da técnica moderna favorável (desfavorável) às suas vantagens econômicas; ii) a observação entre os preços relativos dos insumos modernos e tradicionais (P_x^m/P_x^t) , significando que um aumento dos preços da terra e do trabalho em relação aos insumos modernos favorece o emprego de uma tecnologia moderna; e iii) a análise do preço do produto frente ao seu respectivo preço do insumo tanto na agricultura moderna quanto na tradicional $(P_q/P_x^m$ e $P_q/P_x^t)$, identificando que um crescimento do preço do produto frente ao preço de seu insumo favorece a intensificação do uso do insumo em questão.

Em síntese, a vantagem da técnica moderna em relação à tradicional dependerá da produtividade por insumo, dos preços relativos dos insumos modernos e tradicionais e, por fim, da relação de preço do produto com os seus respectivos preços dos insumos. Mudanças em qualquer uma dessas relações podem criar ou não um ambiente favorável ao uso tecnológico e modernização da agricultura. Todavia, deve-se ressaltar que existe um custo subjetivo (ou transacional) em adotar uma nova tecnologia. A adoção tecnológica pode ser confundida com o problema da transferência de um sistema tradicional para o

moderno. A vantagem da técnica moderna deve ser elevada o suficiente para cobrir estes custos transacionais, o que estimularia a substituição de um sistema pelo outro. Levando-se em consideração a análise dos custos transacionais, a relação de transferência em favor da técnica moderna é dada por:

$$RT^m - CV^m > RT^t - CV^t + CT, \quad (54)$$

sendo RT a receita total, CV o custo variável e CT o custo de transação (ou custo de oportunidade de transferência).

O custo de transação varia de um agricultor para o outro, dependendo da qualificação, das características locais e da cultura inovativa. A FIG.9 apresenta o custo subjetivo de transferência para uma população de agricultores. A inclinação da curva é função do grau de acesso ao financiamento, do nível de instrução, do empreendedorismo, dentre outras variáveis. Nota-se que, quanto maior for a vantagem econômica da técnica moderna em relação à tradicional, mais elevado será o percentual de agricultores dispostos a se modernizarem, o que favorecerá a transferência. Além disso, se houver uma melhora da cultura inovativa, a curva se deslocará para a direita.

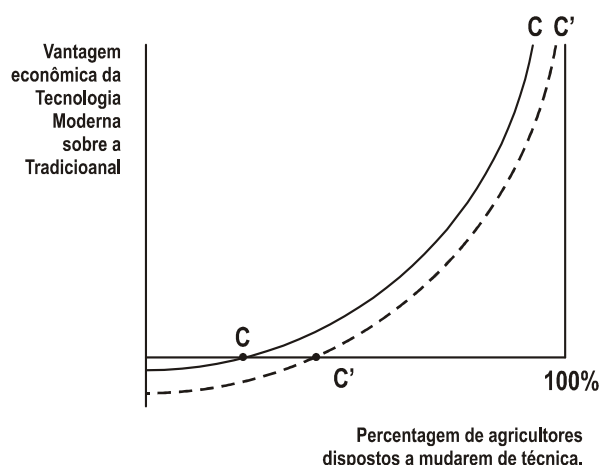


FIGURA 9 – O custo subjetivo de transferência dos produtores.

Fonte: PAIVA (1971, p.190).

No que tange ao processo de difusão tecnológica, a expansão da técnica moderna depende, por um lado, da vantagem econômica do uso tecnológico e, por outro, de alguns fatores reguladores do crescimento, bem como

do desenvolvimento de um setor não-agrícola. A difusão das técnicas modernas provoca alterações nos preços do produto e dos insumos tradicionais, mudanças que impedem a modernização mais acentuada. Esse fenômeno pode ser sintetizado da seguinte forma:

- i. com a difusão tecnológica de insumos modernos, tem-se um aumento da produtividade, *ceteris paribus*, uma queda do preço do produto e, posteriormente, com uma intensificação do uso tecnológico, vê-se uma redução dos preços dos insumos tradicionais (terra e trabalho)⁷⁶;
- ii. por meio da redução do preço do produto, a relação com o preço do insumo se altera (P_q / P_x^m) e reduz, então, a vantagem da tecnologia moderna; e
- iii. em consequência, após a queda dos preços dos insumos tradicionais, tem-se um aumento do preço relativo dos insumos modernos e tradicionais (P_x^m / P_x^t) , o que torna a técnica moderna menos vantajosa, ou mesmo desvantajosa⁷⁷.

O fenômeno descrito acima desestimula o processo de modernização agrícola. Com o uso de uma técnica mais moderna, a redução do custo por unidade de insumo deve compensar a redução do preço do produto. Se isso ocorrer, o uso de mais tecnologia continua. O processo de modernização está associado a um *mecanismo de autocontrole*, já que existem elementos de

⁷⁶ Em VEIGA (1992), no que diz respeito ao efeito *treadmill*, a difusão tecnológica tem a capacidade de excluir os agricultores atrasados (ou marginalizados do progresso técnico), aumentando, assim, a concentração produtiva. Não obstante, tem-se, de um lado, uma queda do preço do produto e, de outro, uma elevação do preço da terra, o que conduziria a um mecanismo de autocontrole do processo de modernização agrícola. Embora o raciocínio de VEIGA (1992) tenha um enfoque da contenção do uso tecnológico distinto do modelo de PAIVA (1971), já que o mesmo deteriora a renda do agricultor, os dois autores falham em suas análises por considerar a tecnologia exógena e por não incluir a constante busca por estratégias diferenciadas numa competição entre os agricultores, que acumulam conhecimento por um processo interno de aprendizado.

⁷⁷ De fato, PAIVA (1971) não percebeu que, com a intensificação do processo de difusão tecnológica, tem-se uma redução do preço do insumo moderno, posto os ganhos de escala da indústria fornecedora (que repassa, em parte, aos consumidores menores preços) bem como o aprendizado e a utilização mais eficiente da tecnologia pelos produtores. Se de fato houver uma redução do preço do insumo moderno, conjuntamente com a redução do preço dos insumos tradicionais, os resultados do modelo seriam imprevisíveis, dependendo da magnitude de redução dos preços em geral. Para uma busca na literatura acerca da difusão tecnológica que apresente este tipo de efeito, ver NELSON & WINTER (1982), SILVERBERG, DOSI & ORSENIGO (1988) e METCALFE (2002).

desestímulo (redução do preço do produto com queda no preço dos insumos tradicionais), os quais surgem por um processo endógeno do próprio crescimento da modernização. Este mecanismo limita o potencial de difusão tecnológica. Por fim, ao atingir tal limite, o crescimento da modernização fica dependente do crescimento do setor não-agrícola⁷⁸.

A introdução tecnológica visa o aumento da produtividade e uma redução do custo de produção. De qualquer forma, nem toda inovação é bem sucedida e, assim, podem-se distinguir três tipos de técnicas modernas: i) uma em que se tem crescimento do rendimento líquido, através do aumento de produtividade sem reduções de custos marginais – é o exemplo de insumos que necessitam de grande dispêndio de capital fixo, tratores, colheitadeiras, máquinas e equipamentos; ii) outra na qual a produtividade cresce e o custo marginal decresce, referente às técnicas com baixo dispêndio de capital fixo e elevado de custeio – como, por exemplo, fertilizantes, defensivos, rações concentradas, entre outras; e iii) aquelas que proporcionam maior retorno, seja pelo aumento da produtividade com a redução do custo marginal, já que não exigem maiores custos adicionais – são exemplos as técnicas de plantio, do espaçamento adequado das plantas, do manuseio do pasto e do uso de sementes melhoradas⁷⁹. A diferença do terceiro para o segundo tipo é que a renda líquida sempre se manterá superior em comparação ao uso da técnica tradicional, já que não há aumento de despesas, enquanto que no segundo tipo existe. Portanto, apenas as últimas técnicas mencionadas não sofrem pressão do *mecanismo de autocontrole*.

Ainda em relação ao *mecanismo de autocontrole*, pode-se especificar que a queda do preço do produto e dos insumos tradicionais não estimula a substituição da técnica moderna pela tradicional. Uma vez adotada a nova tecnologia, um retrocesso tecnológico dado por uma mudança conjuntural não

⁷⁸ Como observado por SCHUH (1973), GRILICHES (1957) reconhece que a relação de preço do produto e do insumo influenciava a taxa de crescimento tecnológico; porém, não percebeu que a própria adoção tecnológica poderia, em alguma medida, deprimir o preço do produto e o preço dos insumos tradicionais, impondo ao processo de modernização o auto-ajuste. Talvez seja neste ponto a principal contribuição de PAIVA (1971) em relação à GRILICHES (1957), além de uma abordagem do dualismo na agricultura. Entretanto, PAIVA (1971) falha ao não abordar a redução de custo com os ganhos de aprendizado, como já especificado na nota anterior.

⁷⁹ O uso de sementes de alto rendimento, todavia, incorre freqüentemente em elevados custos adicionais.

acontece, já que os investimentos tecnológicos realizados se apresentam como um custo de saída (*sunk costs*), ou custos de transferências. Uma das implicações do *mecanismo de autocontrole*, segundo PAIVA (1971, p.203), é que;

Após atingir o que foi denominado de grau adequado de modernização, a agricultura não pode mais forçar o desenvolvimento pela adoção de técnicas modernas (a não ser no caso de produtos exportáveis), pois mesmo que seja levada a isso, com políticas especiais de incentivo, o mecanismo de autocontrole não permite que sua expansão se processe em escala superior à do desenvolvimento do setor não-agrícola⁸⁰.

O mercado externo pode constituir um fator importante num processo de modernização agrícola. Ao absorver a produção de uns poucos países, o *mecanismo de autocontrole* perderia sua função, posto que a queda de preço do produto no mercado interno não ocorreria. Porém, num segundo momento, com a entrada de mais produtores no mercado internacional, haveria uma queda de preço internacional do produto, o que desestimularia a adoção de mudanças tecnológicas.

Mediante o exposto, as variáveis responsáveis pelo processo de modernização são a produtividade, o preço relativo dos insumos modernos e tradicionais, a qualificação dos agricultores, o custo de transferência tecnológica, o *mecanismo de autocontrole*, o desenvolvimento do setor não-agrícola (sendo este capaz de consumir a produção da agricultura e absorver mão-de-obra excedente, que viria do processo de mecanização do campo) e as exportações para o mercado internacional.

Acontece que estas variáveis se diferenciam entre agricultores e regiões (ou mesmo países). A desigualdade entre os agricultores varia segundo a qualificação, a manifestação do auto-ajuste e o custo de transferência tecnológica. Entre regiões, a diversidade se mostra pelo nível alcançado de produtividade, nas

⁸⁰ Uma crítica que se deve fazer é o argumento pessimista quanto ao processo de desenvolvimento agrícola após atingir o grau adequado de modernização. Este raciocínio deixa uma impressão de que a tecnologia não é fonte geradora de renda nos países em desenvolvimento, sendo que, na verdade, o uso de insumos modernos é uma fonte de baixo custo para países em vias de modernização agrícola (mesmo sabendo que os ganhos produtivos da tecnologia podem ser maximizados pelo investimento em capacidade de absorção e em pesquisas experimentais relativas ao caráter regional). Para um comentário análogo e que associa idéias ao trabalho de HAYAMI & RUTTAN (1988), ver SCHUH (1973).

relações de preço, no setor não-agrícola e no setor externo. Deve-se ressaltar que os custos de transporte e logística influenciam nos preços do produto e dos insumos, e que, portanto, criam também desigualdades no processo de modernização.

Conforme a FIG.10, tem-se uma análise do comportamento agrícola moderno e tradicional, bem como do grau de modernização agrícola em condições de dualidade. O referencial de estudo se baseia nas curvas de oferta e nas condições de demanda. Serão verificadas três situações: uma em que a técnica produtiva prevalecente seja a moderna, outra intensiva em técnicas tradicionais e, por fim, uma interpretação da dualidade, ou seja, a coexistência das técnicas modernas e tradicionais. Na parte acima (letras a e b), serão estudadas situações extremas, havendo especialização em termos de técnicas produtivas. Na parte abaixo (letras c e d), examina-se o caso da dualidade.

O gráfico (a) apresenta o caso de uma especialização das técnicas modernas, sendo exemplificadas pela produção de frutas (como figo, uva e pêssago). O uso de insumos modernos de produção (como variedades de sementes melhoradas, adubação e defensivos) na produção de frutas tem por objetivo aumentar a produtividade agrícola. Com a tecnologia tradicional, baixos índices de produtividade seriam alcançados, já que essa cultura é altamente sensível às doenças e pragas e ao inadequado gerenciamento do solo. Nesse sentido, a curva de oferta com o uso de tecnologia tradicional (S^t) se situaria acima da linha de preço, não permitindo a entrada de produtores com técnicas atrasas no mercado.

O gráfico (b) mostra uma situação inversa, que pode ser o típico exemplo da produção da mandioca. O custo marginal da produção com a técnica tradicional (S^t) é bastante elástica no seu início (devido às condições favoráveis de clima e abundância de terras), ficando abaixo da curva de oferta da técnica moderna (S^m) em sua maior parte. Como este tipo de cultura é resistente às variações climáticas e às pragas e doenças, a sua produção é relativamente satisfatória, sendo o preço definido pelas condições da técnica tradicional. A curva de oferta com a técnica tradicional se torna inelástica apenas para volumes

elevados de produção, em que a técnica moderna é preferível. Entretanto, como há um baixo consumo do produto, tem-se uma especialização da técnica tradicional na economia.

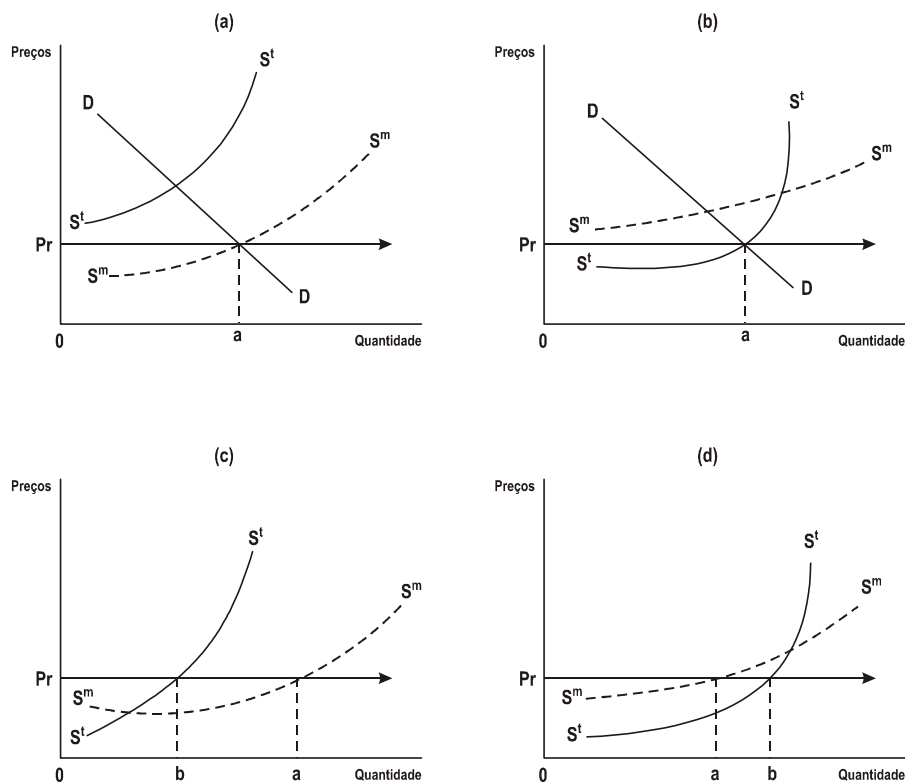


FIGURA 10 – Grau de modernização e curvas de oferta em condições de dualidade tecnológica.
 Fonte: PAIVA (1957, p.214-217).

De acordo com o gráfico (c), é possível verificar uma situação de dualidade tecnológica, representada, por exemplo, pelas produções de aves e de ovos. As diferenças de custos não se mostram tão discrepantes, o que favorece o abastecimento do mercado por produtores modernos e tradicionais. No que se refere à técnica tradicional, os custos produtivos se iniciam num patamar baixo, mas com uma forte mudança de sua elasticidade. Esta situação é explicada, em certa medida, pela produção caseira, que apresenta baixo custo e de fácil manutenção pelo pequeno produtor. Quando a produção aumenta, o risco a doenças e pragas se eleva muito, o que favorece o uso de tecnologias (seleção de reprodutores, rações, medicamentos veterinários, etc.). Nesse sentido, mesmo

com a oferta dos grandes produtores, com o uso de técnicas modernas, há espaço para a produção caseira, que atende porções pontuais do mercado.

Por fim, pelo gráfico (d), há um caso de dualidade, mas inversa ao exemplo anterior. Esta situação é representativa, por exemplo, da produção de milho, que é dominada pela técnica tradicional, já que as variedades tradicionais se encontram adaptadas às diversas condições regionais. A produção da agricultura tradicional (b) é maior do que a da moderna adaptada (a). As sementes híbridas, fertilizantes, máquinas, tratores e colheitadeiras aumentam a produtividade do milho, mas o conseqüente crescimento dos custos não favorece uma transferência para as técnicas mais modernas.

2.2.3. Inovação induzida

O modelo de inovação induzida discutido por HAYAMI & RUTTAN (1988) é uma tentativa de desenvolver uma teoria integrada ao desenvolvimento agrícola e de incorporar mudanças tecnológicas e institucionais. Todavia, a incorporação não é realizada por completo, já que, no fundo, a interpretação, como será apresentada, não passa de uma análise neoclássica⁸¹ de deslocamento da fronteira de produção com pontos de equilíbrios determinados pelas mudanças dos preços relativos dos insumos, normalmente uma combinação que economiza trabalho ou capital. É como se trabalhar nos pontos de tangência das curvas isoquantas e isocustos, sendo estas últimas não lineares. Portanto, o deslocamento da curva de produção, mesmo que haja mudanças nos preços relativos ao longo do tempo, promove a mudança técnica⁸², a qual continua como um fator residual⁸³.

⁸¹ Para uma resenha da tecnologia na agricultura sob o enfoque neoclássico, leia SILVA (1995).

⁸² A mudança tecnológica segundo a teoria da inovação induzida é resultado de um processo de sinalização dos preços relativos dos fatores. Não se refere ao simples processo de ajustamento à mudança de preços relativos ao longo de uma isoquanta, que ocorre em uma economia competitiva. Trata-se de uma decisão de gastos em unidades de pesquisa, poupadoras de capital e de trabalho em uma proporção que respeita a sinalização dada pela escassez relativa de fatores. O resultado é uma trajetória eficiente de redução de custos (ver SILVEIRA, 2002).

⁸³ Para uma abordagem alternativa, que trabalha com a mesma idéia de alterações dos preços relativos dos insumos, mas que de fato incorpora de forma endógena a tecnologia agrícola e o

De acordo com o estudo teórico de HAYAMI & RUTTAN (1988), a inovação técnica visa economizar recursos escassos e intensificar a utilização de recursos abundantes. Como a oferta de terra é inelástica, os aumentos produtivos dependem do desenvolvimento tecnológico. As variedades de alto rendimento que respondem aos usos de fertilizantes anulam as restrições do crescimento econômico impostas pelo fator escasso, no caso a terra. De forma análoga, numa economia que apresente escassez relativa de trabalho, os melhoramentos de máquinas e implementos agrícolas são uma maneira de promover o aumento da produção. A mecanização agrícola propiciou um aumento da produtividade do trabalho e, conseqüentemente, uma expansão da área cultivada, já que foi capaz de poupar trabalho como recurso escasso.

O crescimento agrícola depende, em grande parte, da escolha da trajetória tecnológica mais ajustada ao processo produtivo dentre os possíveis caminhos. Para HAYAMI & RUTTAN (1988, p.99), “(...) *Uma teoria de desenvolvimento agrícola deve incorporar o mecanismo pelo qual uma sociedade escolhe este caminho ótimo de mudança tecnológica para a agricultura*”. As mudanças técnicas são proporcionadas por efeitos de via dupla entre o segmento fornecedor de insumos tecnológicos, os centros de pesquisas e o setor produtor, como já tratado por SAHAL (1985), DOSI (1984 e 1988), CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993) e MOWERY & ROSENBERG (2005).

(...) a mudança técnica é de natureza totalmente induzida. Há uma dimensão de oferta (exógena) para o processo, assim como uma dimensão de demanda (endógena). Além dos efeitos das dotações de recursos e do crescimento da demanda, a mudança técnica reflete o progresso da ciência e da tecnologia em geral. (...) Mesmo nestes casos, a taxa de adoção e o impacto sobre a produtividade das mudanças autônomas ou exógenas na tecnologia serão influenciados fortemente pelas condições de oferta de recursos e da demanda por produtos, já que estas forças se refletem através dos mercados de fatores e de produtos (HAYAMI & RUTTAN, 1988: 104).

Portanto, a inovação tecnológica significa aumentar a produtividade, seja da terra ou do trabalho, em termos de mudanças nos preços relativos dos insumos, sendo tais mudanças induzidas por novos conhecimentos no setor

comportamento *schumpeteriano*, ver a discussão da curva de produção com proporções fixas numa situação dinâmica limitada de VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005).

privado e público. A dinâmica do modelo é constituída pelo processo de adoção tecnológica dos agricultores, do fornecimento de insumos modernos e da geração de conhecimentos por parte dos órgãos públicos e privados de pesquisa. Mesmo que a definição seja restritiva, o modelo trabalha com dois tipos de tecnologia: uma mecânica, que reduz o uso de trabalho, e outra biológica, poupadora de terra.

O funcionamento da mudança técnica induzida pode ser discutido a partir da FIG.11. Tem-se a configuração tanto da inovação mecânica na parte (a) quanto da biológica na (b). A curva de possibilidade de inovação (CPI) é definida como uma envoltória das isoquantas unitárias, correspondentes às tecnologias alternativas desenvolvidas por uma dada pesquisa⁸⁴. As isoquantas (I) são curvas que apresentam uma mesma produção para distintas combinações de insumos produtivos. Nota-se que as transformações são dadas em dois períodos do tempo (0 para o inicial e 1 para o final), e que o equilíbrio produtivo (escolha da combinação dos insumos) é mostrado pela reta que tangencia o ponto de encontro entre a CPI e a I .

No que se refere à inovação mecânica, o eixo vertical é representado acima pelo trabalho e abaixo pela potência das máquinas e tratores agrícolas, enquanto que, no eixo horizontal, tem-se o fator terra. No período inicial, o ponto de equilíbrio de custo mínimo é dado por P , expresso por uma combinação ótima de terra e trabalho e correspondido por uma relação de preços xx . Num segundo momento, um aumento do custo relativo do trabalho (dado pela linha zz) induz o desenvolvimento de uma inovação mecânica mais potente, que combine menos trabalho e mais terra, deslocando a CPI_0 para a CPI_1 e alterando a taxa marginal de substituição técnica da I_0 para a da I_1 ⁸⁵. O novo ponto de equilíbrio é dado por

⁸⁴ Segundo NELSON & WINTER (1977, p.57), "*In many cases natural trajectories are specific to a particular technology or broadly defined 'technological regime'. We use the 'technological regime' language to refer to much the same kind of thing as Hayami and Ruttan mean by a meta production function. Their concept refers to a frontier of achievable capabilities, defined in the relevant economic dimensions, limited by physical, biological, and other constraints, given a broadly defined way of doing things. Our concept is more cognitive, relating to technicians' beliefs about what is feasible or at least worth attempting*". As estratégias de pesquisa e desenvolvimento estão conectadas a certos regimes tecnológicos, os quais definem as direções do progresso.

⁸⁵ Perceba que o deslocamento da isoquanta é dado de forma não convencional, o que explica a real contribuição de HAYAMI & RUTTAN (1988). Este deslocamento é para baixo, a ponto de

Q , o que implica numa relação complementar entre terra e energia expressa pela linha (A, M) . Nesta representação simplificada, pressupõe-se que a terra mais a energia são substitutas do trabalho.

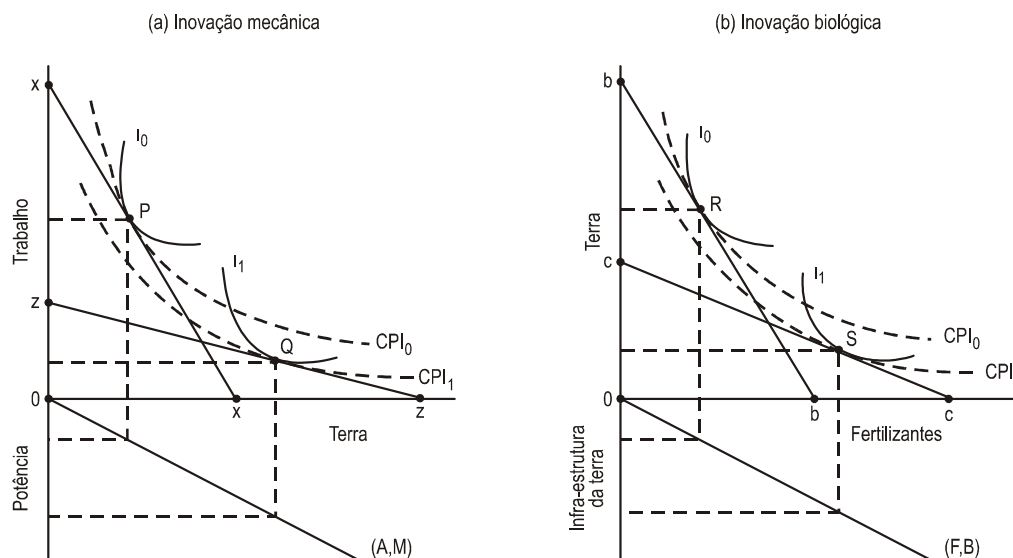


FIGURA 11 – Mudança técnica induzida na agricultura.

Fonte: HAYAMI & RUTTAN (1988, p.105).

Quanto à inovação biológica, ao contrário da tecnologia mecânica, busca-se a substituição de terra por outros insumos. De qualquer forma, o raciocínio microeconômico é análogo ao anterior. No eixo vertical, tem-se a terra e, na parte inferior, a infra-estrutura da terra (como sistemas de irrigação e drenagem). No eixo horizontal, encontram-se os fertilizantes. O ponto de equilíbrio inicial é dado em R . No período subsequente, com o aumento do custo relativo da terra (a passagem da linha bb para a cc), tem-se a indução de novas tecnologias (por exemplo, uma nova variedade que responda melhor à adubação), dada pelo deslocamento da CPI_0 para a CPI_1 , conjuntamente com a queda lateral de I_0 para a I_1 . No novo ponto de equilíbrio (S), é sugerida uma relação complementar entre fertilizantes e infra-estrutura da terra, representada pela linha (F, B) .

alcançar os novos desenvolvimentos tecnológicos, e lateral, proporcionado pelo conhecimento externo e induzido pela mudança dos preços relativos dos insumos.

Embora o referencial analítico apresentado seja um debate mais próximo da teoria evolucionária, é necessário fazer algumas considerações. De fato, a mudança técnica pode ser influenciada pela alteração dos preços relativos. Entretanto, a substituição automática de um insumo técnico pelo fator escasso não se processa na ausência de mudanças institucionais. Nesse sentido, a teoria da inovação induzida fica condicionada à teoria institucionalista, pois o viés induzido da mudança técnica é mais complexo do que um ajuste de equilíbrio, como visto nesta seção. De qualquer forma, para a compreensão da mudança tecnológica na agricultura, é importante enfatizar a forma pela qual os investimentos se conectam aos regimes tecnológicos, determinando, assim, os caminhos de dependência e o processo de aprendizado dos agricultores. Ao contrário de um enfoque baseado apenas nos preços relativos, a mudança tecnológica na agricultura depende das trajetórias tecnológicas e da acumulação do conhecimento.

2.3. Aprendizado localizado

O processo de aprendizado é elemento integrante de análise que condiciona não somente as direções e a trajetória tecnológica ampliada, num determinado paradigma científico, potencializando as oportunidades tecnológicas, como também introduz o fator dinâmico do progresso técnico, ausente no debate teórico da seção anterior voltada ao estudo agrícola. A transferência tecnológica para os agricultores requer investimentos ligados às capacidades gerenciais, que conferem uma maior habilidade em explorar conhecimentos externos [EVENSON & KISLEV (1973) e COHEN & LEVINTHAL (1989 e 1990)].

Numa linha de raciocínio similar ao do modelo CHIAROMONTE, DOSI & ORSENIGO (1993), dado que as indústrias a montante da unidade produtiva têm trajetórias tecnológicas bem definidas e que, ao mesmo tempo, geram insumos (ou inovações radicais) que alteram os coeficientes da produtividade agrícola, muitas concepções tratam as transformações da agricultura como um resultado do processo de difusão técnica. Logo, aumentar a produtividade da agricultura é simplesmente melhorar as condições para a difusão tecnológica. O

ponto a ser discutido aqui é que esta visão é insuficiente para a compreensão da complexidade agrícola. Além disso, para envolver a conjuntura da difusão, é necessário caracterizar em que circunstâncias acontece a adoção de novos conhecimentos. A mudança tecnológica é guiada pelas interações dos processos de inovação, de difusão e de aprendizagem. Tanto a aprendizagem quanto a acumulação de conhecimento constituem pontos centrais do comportamento da mudança tecnológica.

De acordo com KLEVORICK *et al.* (1995, p.186), “(...) *R&D intensity in a industry is largely determined by two key variables: technological opportunities and the ability to appropriate returns from new developments*”. A primeira variável determina a produtividade da pesquisa, enquanto que a segunda estabelece a fração dos retornos da pesquisa que o inovador é capaz de reter. Na agricultura, os investimentos em pesquisa e desenvolvimento são essenciais na construção desta habilidade. As oportunidades tecnológicas dependem, por sua vez, dos avanços científico e técnico, da tecnologia advinda de outras indústrias e do *feedback* do progresso técnico no próprio segmento agrícola. “*Advances in production process technology and equipment, which are often the result of work done by upstream suppliers, also can expand a downstream industry’s opportunities to improve product attributes and designs*” (*ibidem*, p.191).

O grau de eficiência tecnológica se diferencia entre os produtores pela variabilidade da capacidade de absorção de conhecimento externo (um fator endógeno), o que determina o estoque de conhecimento, e pela diversidade climática e geográfica da agricultura (variável exógena), já que uma mesma tecnologia terá um retorno produtivo diferenciado em função das especificidades locais. Assim sendo, os recursos produtivos (seja do lado gerencial ou mesmo das questões de cada ecossistema) estão distribuídos geograficamente de forma desigual. A distribuição desigual destes recursos explica em parte o crescimento diferenciado de distintas regiões⁸⁶. Conforme ESPOSTI (2002, p.696)⁸⁷,

⁸⁶ Para um estudo que mostra o distanciamento do desenvolvimento agrícola africano em relação ao resto do mundo, ver JOHNSON & EVENSON (2000). Alguns países em desenvolvimento não possuem instituições que promovam a inovação doméstica ou a transferência de tecnologia estrangeira às condições locais. Ao mesmo tempo, o baixo incentivo em inovação e os escassos

The absorptive capacity actually depends on own research effort whenever knowledge and innovations are 'complex'. 'Complex innovations' means that they require learning and adaptations to become effective in the specific context (the recipient firm).

O crescimento produtivo é mais do que uma intensificação dos fatores produtivos. Segundo DENISON (1964), o crescimento do capital é bastante subestimado, já que a mensuração física não inclui uma série de importantes fontes do crescimento econômico. O seu conceito de *progresso do conhecimento*, essencialmente residual, encobre grande fluxo dos serviços produtivos, que são parte integrante das contribuições do aumento do capital⁸⁸. A mudança tecnológica, portanto, não pode ser entendida como um conjunto de resíduos não explicados, que escondem a maior parte do crescimento econômico⁸⁹.

Dependendo das estratégias do Sistema Nacional de Inovação, a adoção tecnológica tem por objetivo incorporar o conteúdo tecnológico dos insumos, que normalmente são produzidos em regiões externas e em centros de pesquisas mais desenvolvidos. O objetivo da introdução de conhecimentos gerados em outros centros é justamente captar o conteúdo embarcado dos insumos. Algumas regiões (ou países), como mostrado por ESPOSTI (2002), agem de forma oportunista (como *free rider* – o carona) no intuito de absorver o

investimentos em instrução técnica dos produtores são responsáveis por um baixo crescimento produtivo nas regiões mais pobres.

⁸⁷ Embora o estudo deste autor aborde a capacidade de absorção do Sistema Nacional de Inovação Agrícola, enfoque análogo pode ser adotado na ótica do agricultor em captar os efeitos de transbordamento. Os termos “*spill-in*”, “*spill-out*” e “*spillover*” são diferentes formas de denominação da transferência tecnológica. Do ponto de vista do setor receptivo, o programa de pesquisa (ou investimentos) gera um “*spill-in*”. No outro extremo, considera “*spill-out*” (ou “*spillover*”), se o setor provedor de novos conhecimentos for o foco.

⁸⁸ Depois de eliminados os erros de mensuração tanto do capital quanto do trabalho, no estudo de DENISON (1964), apenas o *progresso do conhecimento* (fonte residual) era responsável por cerca de 37,5% do crescimento econômico como um todo.

⁸⁹ Normalmente, a mensuração das transformações tecnológicas na agricultura é calculada em termos da produtividade total dos fatores (PTF), sendo um índice que subtrai a taxa de crescimento agregado dos insumos do crescimento do produto. O crescimento da PTF capta o crescimento do produto que é devido a uma combinação eficiente de insumos, seja pelo uso adequado de informação ou pelo nível de atualização tecnológica [ver SADOULET & DE JANVRY (1995)]. Mudanças da produtividade resultam de diferenças na eficiência, na variação da escala produtiva ou na mudança tecnológica. Acontece que tal medida é baseada em informações passadas e indica muito pouco do que pode acontecer, como, por exemplo, alterar um quadro de estagnação produtiva. Para um estudo das condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira, confira GASQUES *et al.* (2004a) e GASQUES & CONCEIÇÃO (2000). Para o cálculo da PTF, vide APÊNDICE B.

conteúdo tecnológico embarcado, sem ao menos efetuar os investimentos necessários em capacidade de aprendizado e de adaptação tecnológica. Mudanças tecnológicas estão relacionadas à capacidade de assimilar conhecimento externo, que decodifica as instruções atreladas às inovações (ou insumos modernos). É importante destacar que são os elementos tácitos que podem distinguir o desempenho produtivo privado, o que altera a *performance* da técnica de produção, normalmente de domínio público.

O contexto institucional, no qual a tecnologia é utilizada, pode também influenciar o resultado das técnicas produtivas. Se a tecnologia é caracterizada por uma sensibilidade tácita, então os ganhos do aprendizado e da inovação são conjuntamente envolvidos. De acordo com BARDHAN & UDRY (1999), o investimento local em termos de aprendizado é importante a ponto de desenvolver o conhecimento tácito, seja pela aplicação (*learning by doing*) ou mesmo pelas externalidades de rede (*learning from others*). No primeiro caso, a experimentação aplicada está ligada a retornos incertos de produtividade. Já no segundo, o investimento dos produtores vizinhos cria um transbordamento de informações, propiciando externalidades de aprendizado.

Numa perspectiva semelhante, FOSTER & ROSENZWEIG (1995) discutem a adoção e a produtividade de novas variedades de sementes. Os avanços tecnológicos estariam associados ao aprendizado pelo uso e aos efeitos de transbordamento do conhecimento local (*learning spillovers*). A produtividade de uma nova semente aumenta ao longo do tempo na medida em que o conhecimento é acumulado. De um lado, a escassez do conhecimento de como gerenciar novas variedades é uma barreira à adoção. De outro, a experiência dos produtores vizinhos contribui para melhorar o conhecimento gerencial das novas variedades, o que conduz a um aumento da produtividade líquida. As barreiras diminuem com o aumento da experiência própria e dos vizinhos nos primeiros anos de adoção. Ademais, agricultores com vizinhos experientes são mais lucrativos do que o contrário.

A ocupação do Cerrado brasileiro, no Centro Oeste, a partir da década de 70, é um exemplo de como as especificidades locais se moldam em um

processo de aprendizado no tempo⁹⁰. Podem-se identificar algumas trajetórias tecnológicas bem definidas no desenvolvimento agrícola, não sendo apenas um tipo específico de inovação, mas um conjunto de inovações graduais em várias áreas do conhecimento (biológicas, químicas e mecânicas) associadas à dimensão da escala da unidade produtiva. Em termos do melhoramento genético, foram inicialmente realizadas diversas pesquisas no intuito de adaptar mudas e sementes resistentes ao clima da região (mais seco e quente)⁹¹. O desenvolvimento de plantas mais adaptadas propiciou o começo da produção agrícola, sendo a soja o grande experimento. Ao mesmo tempo, a mecanização foi estabelecida, devido ao tipo de terreno (característico de planaltos, o que favorecia o uso de máquinas e tratores).

Porém, a utilização de máquinas e tratores não era mais intensa, já que a escala de produção era pequena e a produtividade reduzida, devido à baixa qualidade do solo daquela região. No início da década de 80, a inoculação na semente da soja por bactérias que captam o nitrogênio do solo permitiu o crescimento da produção com um menor uso de fertilizantes, contribuindo para aumento da escala produtiva com uma maior produtividade por área plantada. Com o crescimento da produção, o uso intensivo de máquinas mais potentes e de grande porte, bem como a regulação das colheitadeiras, a qual evitou o desperdício de grãos, contribuíram para o significativo aumento do setor produtor de soja, numa região até então marginalizada da produção agrícola.

A direção e o grau da mudança tecnológica são moldados pela existência de recursos naturais essenciais ao desenvolvimento. Embora a terra

⁹⁰ No intuito de introduzir interações localizadas entre as firmas, JONARD & YILDIZOGLU (1998) postularam uma estrutura particular da firma no espaço (análise regional). Considerou-se que as firmas eram localizadas num espaço bidimensional fechado, onde cada uma se identificava por um par de coordenadas (i, j) , correspondendo, respectivamente, à sua localização horizontal e vertical. Sendo o número de linhas dado por R e o de colunas por C , o espaço geográfico (*firm space*) era de $I = \{1, \dots, R\} \times \{1, \dots, C\}$. Nesse sentido, a distância, $d[(i, j), (k, l)]$, entre duas firmas será igual ao número mínimo que as separam. Esta formalização seria, portanto, uma das maneiras de identificar especificidades regionais nos modelos de simulação. A presença de externalidades de rede modifica o comportamento total das firmas em respeito à criação e adoção tecnológica.

⁹¹ Os estudos de melhoramento genético se iniciaram na primeira metade do século passado e ampliaram os conhecimentos básicos. Por volta das décadas de 70 e 80, seguiu-se um maior esforço para aplicação do conhecimento gerado ao longo dos anos anteriores.

fosse um recurso abundante no Cerrado brasileiro, a incorporação da nova fronteira agrícola não seria possível na ausência das várias tecnologias desenvolvidas e da capacidade de aprendizado localizado dos agricultores. Os recursos naturais não possuem intrinsecamente um valor econômico. Para que os recursos sejam extraídos e explorados no intuito de atender às necessidades humanas, a disponibilidade de conhecimentos tecnológicos tem a capacidade de gerar este valor. A velocidade com que os recursos são descobertos e explorados está ligada à organização de um sistema substancial de instituições, universidades, órgãos de pesquisa (público e privado), centros de extensão agrícola, sistema financeiro que promova o investimento bem como empresas fornecedoras de insumos modernos.

Como inicialmente discutido na seção 2.1, a trajetória tecnológica ampliada se associa à idéia de que os ganhos de produtividade observados pela agricultura referem-se tanto à combinação no tempo de fontes de inovação de natureza diversa quanto aos incentivos internos para inovar e intensificar o conteúdo tecnológico na produção⁹². Este processo de coordenação entre o uso de fontes externas do conhecimento com o investimento no aumento do conteúdo tecnológico não se limita à dinâmica competitiva das indústrias fornecedoras e nem mesmo pode ser explicado no âmbito restrito da unidade produtiva.

Todavia, como foi explicitado em várias passagens do trabalho, há um comportamento ativo do agente produtivo – no sentido de realização deliberada de esforço em algum tipo de aprendizado, que transcende a simples leitura de manuais ou de outras recomendações padronizadas e codificadas, que aparecem, por exemplo, em rótulos de produtos, cartilhas de agências de extensão e assim por diante. Há um comportamento que enfatiza o papel ativo do produtor, o qual combina o uso de fatores com dinâmicas inovativas próprias e formas específicas de interação com a produção agrícola⁹³. Para além do ajustamento *Baysiano* proposto por FOSTER & ROSENZWEIG (1985), o agricultor (ou uma rede local de

⁹² Retornar à FIG.6 da seção 2.1.

⁹³ Este comportamento será tratado na construção do modelo analítico, no capítulo subsequente, como sendo do tipo inovador, incluindo uma correspondente conduta imitadora.

agricultores) se apropria desses ganhos de produtividade e, com isto, gera vantagens competitivas.

Como no caso do Cerrado brasileiro, o plantio direto e o cultivo de transgênicos são também exemplos que ilustram a importância do aprendizado localizado e da ampla trajetória tecnológica. O uso do plantio direto é considerado a técnica fundamental para preparo do solo no Brasil. Ao contrário das técnicas tradicionais de aração e gradação que ainda perduram em muitas regiões, o ganho obtido tem relação direta com a capacidade de aprendizado do agricultor e o desenvolvimento específico de máquinas e equipamentos voltados a este tipo de manejo. A difusão do uso do plantio direto e uma massa crítica mínima acerca deste conhecimento justificaram o desenvolvimento industrial dos equipamentos por algumas empresas, como Semeato, Tatu, Marchezan, Baldin.

Trata-se de uma clara inovação em processo, cujo resultado, em ganhos de competitividade, principalmente na forma de melhor conservação dos recursos naturais, depende do conhecimento do agricultor e das condições específicas da propriedade agrícola. Originalmente desenvolvido nos EUA, a partir de 1972, o plantio direto desenvolveu-se no Brasil como elemento de vantagem competitiva, que permitiu aos agricultores locais reduzir os efeitos negativos do clima tropical sobre o solo, acentuado pelas técnicas trazidas da Europa.

A origem do plantio direto no Brasil se deveu ao trabalho de um grupo de agricultores de origem holandesa, que se estabeleceu no estado do Paraná, de solo originalmente inadequado ao cultivo de grãos. Este grupo de agricultores, seguindo o conceito de *guidepost* e tendo um claro problema a resolver (a erosão, a compactação do solo e a excessiva e desnecessária exposição do terreno às intempéries no processo de preparo do solo), concebeu alguns processos, cuja idéia básica foi a de revirar ao mínimo o solo (daí o nome cultivo mínimo estar associado ao conceito de plantio direto). Tais agricultores estenderam o conceito até as técnicas de plantio, desenvolvendo novas plantadeiras. Além disso, os mesmos aproveitaram a existência de dissecantes para manter a palha como forma de manutenção da umidade do solo (e também da matéria orgânica), essencial em cultivos não irrigados do Brasil.

Este processo de contínuo aprendizado depende de um trabalho individual e coletivo local, o que propicia externalidades. As vantagens locais são progressivamente transferidas aos outros agricultores como efeito de transbordamento da necessidade de introdução de novos equipamentos. Todavia, é óbvio que os produtores com maior acumulação de conhecimento no tempo possuem ganho diferencial em relação àqueles que dependem do conhecimento tácito, que posteriormente é embarcado na forma de máquinas e também de resultados das pesquisas da Embrapa.

A associação dos produtores de plantio direto (na palha) tem 35 anos. Os agricultores inovadores diversificaram suas atividades e elevaram os seus lucros, gerando efeitos de transbordamento para agricultores nacionais e para os países vizinhos, como Paraguai e Argentina. O plantio direto abrange uma área significativa da produção agrícola brasileira (25 milhões de hectares), sendo também este plantio desenvolvido na cana-de-açúcar.

A importância deste exemplo está em mostrar que a co-evolução das tecnologias agrícolas depende fundamentalmente do esforço local para seu desenvolvimento. Ainda que os estudos posteriores para melhoria do plantio direto tenham passado por desenvolvimento de modelos experimentais – e, portanto, pela pesquisa feita em instituições de pesquisa – é claro que a percepção do problema e das oportunidades tecnológicas para o desenvolvimento de tecnologias com forte interação local partiu fundamentalmente dos agricultores.

A difusão dos cultivos transgênicos de soja na Argentina e no Brasil tem uma história interessante que corrobora o papel ativo dos agricultores e dos produtores de sementes, que devem ser encarados como agricultores especializados e geralmente inovadores⁹⁴. Este outro exemplo também mostra que o papel ativo dos agricultores está em aproveitar as oportunidades tecnológicas, mais do que atuar como um agente inovador *schumpeteriano* tradicional. O sentido de inovar e de imitar é aqui, fundamentalmente, o de combinar adequadamente tecnologias que possam gerar vantagens locais duradouras.

⁹⁴ Para um estudo do caso argentino, vide TRIGO *et. al.* (2002).

Em meados dos anos 90, a empresa Monsanto transferiu inicialmente seu material tolerante ao herbicida às empresas locais RELMÓ e NIDERA (empresa holandesa de óleos que se instalou na Argentina), abrindo mão da cobrança de *royalties*. O conceito utilizado para o desenvolvimento dos cultivares implicava em aproveitar uma característica tolerante a certos herbicidas hormonais de várias plantas existentes. Portanto, a idéia desenvolvida pela Monsanto era genérica, mas a apropriação local das vantagens dadas pela tecnologia dependeu do papel ativo dos agricultores.

O fato é que o processo de difusão poderia ser encarado de acordo com a teoria de difusão, tal como tratada na seção 2.2.1 da tese, em que o conhecimento do potencial das sementes geneticamente modificadas foi sendo disseminado entre os agricultores. Houve novamente um papel ativo dos agricultores, percebendo os ganhos diferenciais do uso desta tecnologia. O problema estava na dificuldade do manejo de ervas daninhas na região combinada às limitações impostas à expansão da soja na Argentina pela disponibilidade de terras.

Nesse sentido, o fato inovador foi que a expansão da tecnologia deu-se de forma a acelerar e consolidar o plantio direto no país, um esforço feito em colaboração com instituições de pesquisa locais, Embrapa e inclusive com a participação de associação de produtores locais. A participação ativa dos produtores rurais neste processo de difusão resultou não só no equacionamento do problema gerador da difusão (o problema a ser resolvido), mas na possibilidade de intensificar o uso do solo nas regiões produtoras, gerando competitividade diferencial à agricultura argentina, que tem algumas vantagens competitivas em termos de logística em relação ao seu competidor direto, o Brasil.

Estes dois exemplos (tanto o plantio direto quanto o cultivo de transgênicos) reforçam a hipótese central desta tese, na qual a atividade agrícola procura combinar de maneira eficiente e mínima os insumos industriais, o que não pode ser logrado apenas com o desenvolvimento de pesquisas especializadas, mas fundamentalmente na busca de formas integradas de experimentação, em

que o aprendizado local e o desenvolvimento de capacidade de absorver conhecimento são essenciais.

A adoção tecnológica, em certos casos, estimula o comportamento do carona, no que tange ao aprendizado dos outros, já que a informação sobre o gerenciamento da nova técnica produtiva⁹⁵ é não-excludente (característica inerente ao fato de não existirem custos adicionais de repasse do conhecimento a um produtor extra)⁹⁶. Ainda, o problema da adoção é que a produtividade adquirida é incerta e dependente de fatores endógenos e exógenos. O efeito do transbordamento do conhecimento associado ao aprendizado dos outros é reduzido num primeiro instante, mas não menos importante. Os resultados indicam (FOSTER & ROSENZWEIG, 1995) que não existe coordenação suficiente para a adoção de novos conhecimentos e, neste caso, cabe ao Estado subsidiar os investimentos iniciais dos agentes inovadores (ou *first movers*).

Segundo OLTRA (1997, p.6), por consequência, “(...) *l’accroissement des capacités d’apprentissage et d’accumulation de connaissances des firmes est un objectif fondamental des politiques technologiques, qui s’inscrit à la fois dans une perspective d’innovation et de diffusion*”. As políticas de desenvolvimento da pesquisa pública valorizam as interações entre a pesquisa científica e tecnológica. Todavia, a eficácia das políticas de transferência tecnológica depende da capacidade de absorção das organizações. A incorporação do Cerrado brasileiro à produção agrícola, a introdução do plantio direto e o cultivo de transgênicos foram resultado de um grande esforço público no provimento de pesquisa e conhecimento combinado ao aprendizado local e à capacidade de absorção do conteúdo externo pelos agricultores.

Sob a ótica do aprendizado social, a inovação é uma forma de investimento, o qual gera efeitos de transbordamento. Os produtores efetuam gastos em experimentação, a fim de ajustar a técnica produtiva às condições locais. Tais gastos visam o aumento do estoque de conhecimento numa tentativa de elevar lucros futuros. Concomitantemente, a tecnologia agrícola é um bem não

⁹⁵ Por exemplo, o uso de inoculantes, a medida adequada de calcário que faça correção da acidez do solo e as novas variedades com rendimentos mais elevados.

⁹⁶ Para as características de um bem público, cf. OLSON (1971).

rival (ou seja, o consumo do bem por um produtor não reduz a quantidade disponível para consumo desse mesmo bem para outros demandantes)⁹⁷. Quanto maior o aprendizado do produtor no uso de uma tecnologia específica, maior será o beneficiamento dos demais produtores com o novo conhecimento. Ao contrário de uma restrição competitiva de informações, há uma cooperação local entre os produtores⁹⁸.

As externalidades de rede e a cooperação em termos da difusão dos novos conhecimentos não significam uma ausência de competição entre os produtores. A competição existe e se estabelece a partir do momento em que os produtores buscam permanentemente a diferenciação das técnicas produtivas por meio de estratégias gerenciais, tendo em vista à obtenção de vantagens competitivas e lucros extraordinários. A unidade produtiva busca não apenas vantagens competitivas, mas também aumentos de sua escala produtiva, de eficiência econômica e de maiores participações de mercado.

Mesmo que no âmbito local haja algum tipo de cooperação, parte de uma estratégia mais ampla de compreensão do conhecimento, a busca por uma técnica mais eficiente tem por finalidade reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade. Se a redução de custo for bem sucedida em termos localizados, o agricultor será beneficiado com o aumento de sua margem de lucro, uma vez que o preço agrícola permanecerá inalterado e será definido exogenamente (mercados internacionais). Nesse sentido, os agricultores e as regiões que não realizarem o adequado investimento serão marginalizados do processo de produção. Portanto, a competição está ligada ao maior aproveitamento dos elementos tácitos da tecnologia no crescimento produtivo como um todo, sendo tais elementos dinamizados pelas externalidades de rede.

⁹⁷ *Idem*, nota anterior.

⁹⁸ COWAN & JONARD (2003) analisam o fenômeno da invenção coletiva, existente quando o deslocamento da informação entre as unidades competidoras cria um retorno positivo, o qual permite altas taxas de inovação e acumulação rápida do conhecimento, o que parece acontecer no caso agrícola, pelo menos no âmbito regional. Tais autores desenvolvem um modelo representativo da dinâmica do conhecimento e da invenção coletiva, examinando a forma como a arquitetura da rede entre os agentes influencia no desempenho do sistema. Neste modelo, os agentes se diferenciam em termos de habilidades inovadoras, o que determina o potencial inovativo da indústria, bem como em relação às distintas capacidades de absorção, que variam de acordo com o grau de dificuldade do aprendizado (separado em conhecimento tácito e codificado).

O agricultor que adota uma tecnologia constata uma redução dos custos unitários de produção. Como resultado de uma adoção individual, tem-se o aumento da quantidade produzida e do lucro do produtor, que se mantém enquanto o preço permanecer constante. O preço pode ficar estável devido a uma situação atomizada do setor, sendo a influência do aumento do produto infinitesimal na oferta setorial. Haverá, assim, oportunidade de rendimento aos seguidores, que iniciam um processo de imitação da nova tecnologia. Então, a produção total aumentará consideravelmente e, conseqüentemente, este aumento causará uma queda no preço do produto, reduzindo-se as margens de lucro.

No longo prazo, *ceteris paribus*, os consumidores são os beneficiários do avanço tecnológico, já que receberão uma maior quantidade de produto por um preço inferior. Os prejudicados pelo progresso técnico serão os agricultores retardatários (*laggards*), que não foram capazes de introduzir a tecnologia no momento adequado. Num mecanismo de seleção, os agricultores tradicionais serão expulsos do mercado por falta de competitividade. Na medida em que se tem o efeito de manada pela busca tecnológica, uma situação não lucrativa seria novamente alcançada. Nesse sentido, os agentes são levados a buscarem, constantemente, estratégias competitivas e inovações tecnológicas, as quais implicariam no abandono do efeito *treadmill*. Com a eliminação dos produtores menos competitivos, este mecanismo leva a um aumento da concentração setorial. A elevação conseqüente do preço da terra deve ser estudada conjuntamente com as inovações induzidas, que procuram economizar fator escasso, e com a busca excessiva das estratégias inovadoras, que geram instabilidade e diversidade econômica.

Enfim, a lógica de que o avanço tecnológico na agricultura deteriora a renda dos agricultores não leva em consideração a multiplicidade de estratégias dos agentes. As trajetórias tecnológicas, induzidas pelos preços relativos dos insumos ou mesmo por alterações institucionais, bem como a capacidade diferenciada dos agricultores em assimilar e explorar o conhecimento externo (para não mencionar as especificidades climáticas, biológicas e geográficas) proporcionam uma dinâmica favorável ao agricultor inovador.

3. MÉTODO DE ANÁLISE

O capítulo 3 se divide em três partes. A primeira reforça a abordagem alternativa de compreensão do crescimento agrícola por meio da tecnologia endógena e do processo de competição. A segunda especifica a construção do modelo de simulação, incluindo a capacidade de absorção de conhecimentos e o aprendizado dos agricultores. Finalizando, são apresentados e discutidos alguns resultados preliminares da simulação.

3.1. A inovação dinâmica e o processo de competição

A abordagem alternativa do crescimento agrícola⁹⁹ foi uma tentativa explícita de conciliar tanto a diversidade dos agentes quanto o caráter dinâmico das inovações, baseada em pressuposições de instabilidade estrutural, racionalidade limitada e competição tecnológica¹⁰⁰. RUTTAN (1997) mostra que as fontes da mudança técnica são explicadas por elementos mais gerais da inovação induzida, da teoria evolucionária, dos caminhos de dependência e das trajetórias tecnológicas.

O Modelo Evolucionário de Crescimento Agrícola (MECA), apresentado por VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005), procurou analisar a economia agrícola sob o enfoque da teoria evolucionária e, nesse sentido, perceber que a competição tecnológica na agricultura é vista de forma *schumpeteriana*. Os resultados do modelo permitiram a identificação da região dinâmica agroindustrial,

⁹⁹ Esta visão da agricultura é compartilhada pelos trabalhos de POSSAS, SALLES-FILHO & SILVEIRA (1996), BUAINAIN, SOUZA & SILVEIRA (2002), VIEIRA FILHO (2004) e VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005). O presente capítulo discutirá tanto a competição tecnológica entre os agentes, idéia já enfocada pelos autores acima citados, quanto a capacidade de absorção de conhecimentos e o processo de aprendizado dos produtores, propondo a definição de um modelo de simulação que incorpore esta contribuição.

¹⁰⁰ Cf. VERCELLI (1984), SIMON (1979 e 1987) e NELSON & WINTER (1982).

bem como dos padrões de comportamento da mudança tecnológica na agricultura¹⁰¹.

Para construção da abordagem alternativa de análise da agricultura, precisou-se definir uma nova concepção do capital, sendo este uma composição de proporções fixas de fatores produtivos em uma situação dinâmica limitada. O MECA é um instrumental do tipo geminado, o qual concilia dois tipos de capital (estoque e fluxo) em uma mesma função de produção. O capital estoque é representativo das benfeitorias, das máquinas e dos equipamentos, enquanto o capital fluxo representa os defensivos, os fertilizantes e as sementes. O crescimento agrícola depende do crescimento do capital. Para conciliar a subdivisão acima, o crescimento, por exemplo, do capital estoque está limitado ao crescimento do capital fluxo, e vice versa.

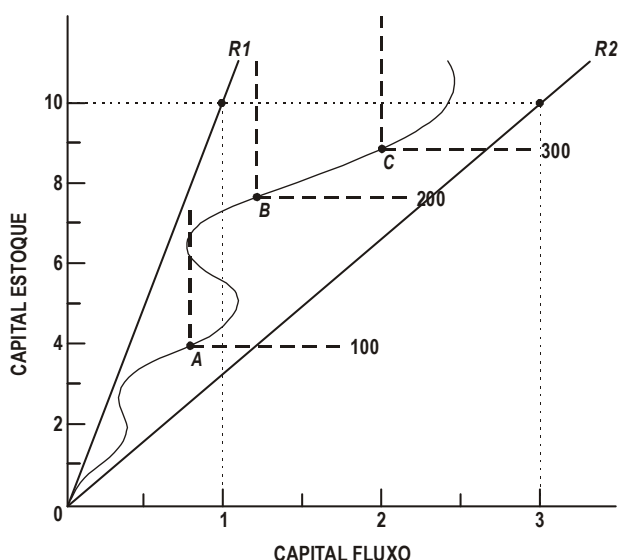


FIGURA 12 – Mapa de isoquantas na agricultura para uma função de produção de proporções fixas em uma situação dinâmica limitada.

Fonte: VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005, p.472).

¹⁰¹ A unidade de seleção era representativa do comportamento da firma, do setor ou da região, dependendo do tipo de análise pretendida. O interessante foi perceber que existia uma competição tecnológica entre cada uma dessas representações.

A função de produção com proporções fixas foi uma forma de incorporar o caráter dinâmico das transformações econômicas ao longo tempo (ver a FIG.12). O caminho de expansão da produção é limitado pela combinação dos fatores produtivos entre dois raios, OR_1 e OR_2 . Nos pontos A, B e C a relação de insumos utilizados na produção varia ao longo do tempo. Todavia, a substituição de fatores produtivos se restringe a um limite superior e a um inferior, podendo compatibilizar as isoquantas de bico com o caráter evolucionário das transformações tecnológicas no decorrer do período.

É interessante perceber que esta representação esquemática da função de produção é uma importante evolução do comportamento agrícola, quando comparada ao modelo de inovação induzida de HAYAMI & RUTTAN (1988). A inovação induzida ocorre com a diferença dos preços relativos dos insumos, procurando um viés que economize o fator escasso. Não obstante, a mudança técnica é definida por meio de um equilíbrio estável e por um deslocamento da curva de possibilidade de inovação e da isoquanta, sendo, em última instância, um deslocamento lateral para baixo da função de produção.

Em VIEIRA FILHO, CAMPOS & FERREIRA (2005), a representação da curva de produção é uma situação hipotética, já que o modelo construído é de simulação. Além disso, o MECA aborda a dinâmica do processo de pesquisa e desenvolvimento na busca por estratégias inovadoras, como no modelo NELSON & WINTER (1982). Todavia, apresenta-se uma lógica que visa economizar o fator menos produtivo, intensificando o uso do capital que proporcione maior retorno, dada a limitação de uma combinação mínima.

De maneira genérica, a função de produção do MECA pode ser descrita como a seguir. A quantidade produzida é determinada como uma função de produção de proporções fixas entre duas formas de capital. A produção da atividade agrícola i no período t é igual ao mínimo do quociente entre os capitais empregados (Ke_{it} ou Kf_{it}) e os seus respectivos coeficientes técnicos α e β . Logo: $Ke_{it} = \alpha \cdot Q_{it}$ e $Kf_{it} = \beta \cdot Q_{it}$. Assim, a produção Q_{it} se limita ao máximo dado pela combinação mínima entre esses dois fatores. Se $Ke_{it} / \alpha < Kf_{it} / \beta$, haverá sobra do

segundo fator. Se o contrário ocorrer, $Ke_{it}/\alpha > Kf_{it}/\beta$, haverá excesso do capital estoque. Desse modo, a função de produção fica definida como:

$$Q_{it} = \min \left\{ \frac{Ke_{it}}{\alpha}, \frac{Kf_{it}}{\beta} \right\} \quad (55)$$

A relação entre o capital fluxo e o capital estoque é dada por uma constante, sendo $Kf_{it}/Ke_{it} = z_{it}$. Por outro lado, tem-se que $(Kf_{it}/\beta)/(Ke_{it}/\alpha) = n$; tal que $(Kf_{it}/\beta)(\alpha/Ke_{it}) = n$. Assim, fazendo-se a substituição, chega-se ao resultado que $n(\beta/\alpha) = z_{it}$. Os parâmetros (α e β) são inicialmente determinados, sendo n uma constante que define a proporcionalidade entre os capitais. Então, no estado inicial do sistema, z_{it} é dado. Nesse sentido, $\alpha = 1/Ae_{it}$ e $\beta = 1/Af_{it}$, onde Ae_{it} é a produtividade do capital estoque e Af_{it} é a produtividade do capital fluxo¹⁰².

Os resultados das simulações mostraram um contínuo crescimento da oferta produtiva e, ao mesmo tempo, um declínio dos níveis de preço. Os agentes foram subdivididos em inovadores e imitadores, tendo os primeiros maiores gastos em pesquisa e desenvolvimento. Ao se fazer uma interpretação conjunta da participação de mercado *versus* a lucratividade, pode-se dizer que o esforço tecnológico é compensador no tocante à posição de mercado; entretanto, em termos de lucratividade, nem sempre o produtor inovador é o mais lucrativo. Apenas no longo prazo, as inovações beneficiariam, de um lado, os produtores inovadores e, de outro, excluiriam os menos competitivos. Em um ambiente de competição tecnológica, mostra-se que a competição pelos recursos produtivos nos complexos agroindustriais produtores de grãos leva à busca permanente de inovações, caracterizando uma dinâmica evolucionária entre as atividades e uma maior concentração do capital setorial e regional.

¹⁰² O restante do MECA segue a mesma lógica da modelagem de NELSON & WINTER (1982), a qual foi apresentada no primeiro capítulo. Porém, os parâmetros de cada capital são distintos. Ademais, ao rodar as simulações, a seqüência das equações dependerá da escolha do fator produtivo.

3.2. Modelo Evolucionário de Aprendizado Agrícola

Discutiu-se, até o presente momento, a importância que tem o papel da mudança tecnológica na agricultura, além do mecanismo interno de aprendizado dos produtores. Ademais, foi visto de que maneira a adoção influencia as condições da difusão dos novos conhecimentos. Para simular o comportamento agrícola, é preciso tratar tanto da competição tecnológica quanto dos investimentos nas habilidades gerenciais e no aumento de capacidade de absorção.

Para formalizar o modelo matemático, é necessário definir o capital como sendo uma combinação dos vários fatores produtivos (representando um conteúdo tecnológico) utilizados no processo de produção: máquinas, equipamentos, herbicidas, defensivos, fertilizantes, combustíveis, sementes, entre outros. A hipótese básica pressupõe que o crescimento agrícola depende do crescimento do capital, sendo a adoção tecnológica e o estoque de conhecimento dos produtores elementos que aumentam a produtividade agrícola.

No intuito de compreender o setor agrícola, deve-se utilizar um modelo de adoção de novas sementes (ou mesmo um crescimento do conteúdo tecnológico) no processo de produção. Entende-se que a semente é o fator produtivo capaz de alterar o preço relativo dos demais insumos. A relação econômica produtiva das sementes e dos demais fatores produtivos é ponto central para a compreensão do caso agrícola. Quanto maior for o gasto em investimento (inovação ou imitação), maior será a capacidade de absorção de conhecimento externo e, conseqüentemente, mais eficiente o aprendizado, o que se relaciona com menores custos produtivos e maiores produtividades.

A habilidade do agricultor em explorar o conhecimento externo é um componente crítico no reconhecimento do valor de uma nova informação, a qual pode ser assimilada e aplicada de diferentes formas na produção. Sementes mais modernas possuem custo e grau tecnológico mais elevado, quando comparadas às sementes tradicionais. As novas sementes podem gerar um efeito de economia

no uso de outros fatores produtivos, como, por exemplo, uma redução de combustíveis e um menor uso de herbicidas. Desta maneira, a produtividade associada à semente moderna será mais elevada e, se a nova informação for bem utilizada, ter-se-á um menor dispêndio de recursos financeiros nos outros fatores produtivos¹⁰³.

A dinâmica agrícola e a diferenciação dos agentes são obtidas por meio de uma competição por maior eficiência econômica. A inovação tecnológica vinda do uso de uma nova semente pode gerar redução de custos e aumento de produtividade. A adoção de uma nova semente aumenta as chances de obter um sucesso inovativo (redução de custos e aumento de produtividade). Entretanto, o comportamento da produtividade *versus* os custos depende da capacidade de absorção do conhecimento externo e do aprendizado de cada produtor. Diferentes agricultores possuem distintas habilidades de aprendizado e de gerenciamento da tecnologia de forma mais eficiente.

Assim sendo, o grau de redução de custos e de aumento de produtividade, diante das habilidades gerenciais dos agricultores, é o principal fato estilizado que será apresentado no Modelo Evolucionário de Aprendizado Agrícola, aqui denominado de MEA. Seria difícil prever qualquer comportamento da produtividade e dos custos de produção, já que os agricultores possuem distintas capacidades de aprendizado e diversas formas de processamento da

¹⁰³ Em estudo realizado por BRAGAGNOLO *et al.* (2007), numa análise de custos comparativos da produção da soja transgênica (RR) e da convencional no Estado do Paraná, encontraram-se custos menores de produção para a soja transgênica se comparados aos da soja convencional. A estimativa de redução do custo total do plantio transgênico ficou em torno de 3,7%. Embora o custo da semente transgênica (taxa tecnológica) tenha sido mais elevado (ao redor de 29%), ocorreu uma diminuição das despesas decorridas da utilização de máquinas e equipamentos em 7,9% e do consumo de combustível em 8,1%. Além disso, tem-se uma redução das aplicações de herbicidas no plantio de transgênicos, sendo seu gasto reduzido em torno de 48%, quando comparado à soja convencional. Vale lembrar que estes resultados se diferenciam no âmbito regional, no aspecto microeconômico e na unidade produtiva. Pelo trabalho de TRIGO *et al.* (2002), foram mostradas as principais mudanças da produção agrícola argentina, após a introdução do plantio de sementes transgênicas a partir de 1996. Explicou-se que a adoção de tecnologia externa, particularmente pela sua boa adequação às especificidades regionais da Argentina, contribuiu favoravelmente com o crescimento agrícola, sem danos ambientais de qualquer natureza. De acordo com EVENSON (2003), a revolução genética tem ajudado a aumentar a produtividade agrícola em geral e o uso de organismos geneticamente modificados é uma forma de países em desenvolvimento se beneficiarem de uma segunda revolução verde.

informação. A adoção de novas sementes não é garantia de resultado bem sucedido em termos de análise custo-benefício.

O MEA procura explicar, dentro de um processo de aprendizado, o comportamento entre a produtividade, os custos e a capacidade de absorção de cada agricultor. No que tange ao processo de aprendizado, a capacidade de absorção aumenta em ordem crescente entre os agentes imitadores para os inovadores. O investimento em aprendizado busca aumentar a capacidade de absorção e, conseqüentemente, a captação de conhecimento externo. O modelo é subdividido em três partes: (i) produtividade; (ii) custos; e (iii) lucros. As três partes são especificadas por área produzida ou unidade de terra (no caso, por hectares).

Produtividade

De acordo com a equação abaixo, a produtividade por área plantada do produtor agrícola (A_{it}) depende do parâmetro (α_i) e da variável produtividade final (A_{if}). De um lado, o parâmetro α_i representa a velocidade do aprendizado. Quanto menor for este parâmetro, mais rápido será o aprendizado ao longo do tempo e, portanto, maior a produtividade alcançada em um dado período do tempo. De outro, o limite final do crescimento ou decrescimento da produtividade é determinado pelo comportamento do conhecimento de cada agricultor¹⁰⁴.

$$A_{it} = \alpha_i . A_{it-1} + (1 - \alpha_i) . A_{if} + u \quad (55)$$

De outra maneira, α_i é um parâmetro de velocidade da assimilação do conhecimento tecnológico, e o valor calculado da produtividade no período final é função do acúmulo de conhecimento e mudança tecnológica. Além disso, a produtividade pode ser alterada por um fator aleatório (u), o qual representa uma mudança não esperada ou exógena ao modelo. Estas variações exógenas são dadas por mudanças climáticas, pragas ou qualquer outra alteração não explicada.

¹⁰⁴ Numa comparação com o modelo de difusão de GRILICHES (1957), vale observar que tanto a velocidade do aprendizado quanto a definição da produtividade final variam ao longo do tempo e, neste sentido, influenciam os parâmetros estáticos da função logística do milho híbrido. Em outras palavras, a dinâmica da adoção, no âmbito do produtor agrícola, altera os parâmetros da difusão tecnológica.

A equação seguinte identifica a magnitude do crescimento ou decréscimo da produtividade. Será o valor de A_{if} que determinará o limite da produtividade do produtor agrícola no período final da simulação. Para tanto, ter-se-á um parâmetro (χ_i) multiplicado pelo grau de conhecimento tecnológico (T_i) e somado à produtividade inicial no tempo zero (A_{i0}) de cada agricultor.

$$A_{if} = \chi_i \cdot T_i + A_{i0} \quad (56)$$

O grau de conhecimento tecnológico, como apresentado a seguir, é determinado pela taxa de crescimento do estoque de conhecimento (Z_{it}) comparada à média do mercado. A taxa de crescimento do estoque de conhecimento é dada pela variação do estoque de conhecimento entre o período presente e o anterior, sendo a derivada no tempo do estoque de conhecimento dada por; $z_{it}^{\bullet} = \partial Z_i / \partial t = \Delta Z_i / Z_i = \frac{(Z_{it} - Z_{it-1})}{Z_{it-1}}$.

$$T_i = \frac{z_i^{\bullet} - \overline{z^{\bullet}}}{\overline{z^{\bullet}}} \quad (57)$$

Logo em seguida, apresenta-se o estoque de conhecimento (Z_i) como sendo função do investimento do agricultor (I_i), da sua respectiva capacidade de absorção (γ_i), do efeito de transbordamento do mercado ou *spillover* (θ), do total de investimento realizado pelos outros produtores agrícolas ($\sum_{j \neq i} I_j$) e do conhecimento externo (E).

$$Z_i = I_i + \gamma_i \left(\theta \sum_{j \neq i} I_j + E \right) \quad (58)$$

A capacidade de absorção e o efeito de transbordamento assumem valores compreendidos entre zero e um. Quanto maior for a capacidade de absorção, maior será a habilidade do agricultor em apropriar-se do conhecimento oriundo dos investimentos dos demais produtores e mais eficiente ficará o uso do conhecimento externo. Quanto maior for o valor do efeito transbordamento, será maior a interação entre os agentes e mais fácil a difusão do conhecimento em rede.

Conforme a equação subsequente, a capacidade de absorção futura (γ_{it+1}) é função da capacidade de absorção passada (γ_{it}), do investimento realizado (I_{it}), de um parâmetro (β) que especifica a complexidade do conhecimento assimilado¹⁰⁵ e da depreciação da capacidade de absorção (σ).

$$\gamma_{it+1} = f(\gamma_{it}, I_{it}; \beta, \sigma) \quad (59)$$

Entretanto, dependendo das estratégias de investimentos dos agentes (inovadoras e imitadoras), tem-se um comportamento distinto para o crescimento da capacidade de absorção (ver TAB.3). No caso de um sucesso inovador, a capacidade de absorção apresentará sempre um crescimento na magnitude de $[\beta.(I_{it})^{-1/2}]$, já que este agente não sentirá o efeito da depreciação. No outro extremo, se não houver sucesso inovador, a capacidade de absorção poderá crescer ou diminuir, dependendo do impacto da depreciação no tocante à magnitude do crescimento.

Tabela 3 – Comportamento da capacidade de absorção do agricultor inovador e imitador

Performance	Tipo de Agente	
	Imitador	Inovador
Sucesso	$\gamma_{it+1} = \max(\gamma_{it}, \bar{\gamma}_t)$	$\gamma_{it+1} = \gamma_t + \frac{\beta}{\sqrt{I_{it}}}$
Não Sucesso	$\gamma_{it+1} = \min\left(\gamma_{it}, \gamma_t + \frac{\beta}{\sqrt{I_{it}}} - \sigma\right)$	$\gamma_{it+1} = \gamma_t + \frac{\beta}{\sqrt{I_{it}}} - \sigma$

Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar o comportamento do agente imitador, um sucesso significa atingir o máximo entre a capacidade de absorção passada e a média da capacidade de absorção do mercado, de modo que o agente se beneficia por ser bem-sucedido. Caso haja um insucesso, a capacidade de absorção será dada

¹⁰⁵ O parâmetro β aqui especificado tem comportamento inverso ao do modelo de COHEN & LEVINTHAL (1989). Quanto maior β , será mais codificado o conhecimento e menor o custo por unidade de conhecimento, sendo maior o impacto na capacidade de absorção para um dado investimento. Quanto menor β , menos codificado será o conhecimento e, contrariamente, maior ficará o custo por unidade de conhecimento. Para um conhecimento menos codificado, menor será o crescimento da capacidade de absorção para um mesmo dado de investimento.

pelo mínimo (penalização por não ser bem-sucedido) entre o valor passado e o cálculo com a inclusão da depreciação. Vale ressaltar que a probabilidade de sucesso, tanto na estratégia inovadora quanto na imitadora, é definida pela

$$\text{Pr} = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i}.$$

Custos

Como se mostra, o custo do produtor (C_{it}) é a soma do custo operacional (CO_i) mais o volume do investimento no período. O custo operacional é constante e determinado pelos custos administrativos, pelos gastos com mão-de-obra, pelos insumos e pelas despesas financeiras. É importante lembrar que a capacidade de absorção de cada agente tem a capacidade de reduzir parte do custo operacional. O parâmetro (ψ_i) varia entre zero e um e determina o percentual a ser reduzido nos custos operacionais. Quanto maior a capacidade de absorção, maior será o desconto no custo operacional e, conseqüentemente, nos custos finais.

$$C_{it} = CO_i \cdot [1 - (\psi_i \cdot \gamma_{it})] + I_{it} \quad (60)$$

Assim, a capacidade de absorção de cada agente pode influenciar, não somente na assimilação de conhecimento externo, como também na redução dos custos finais de produção a cada momento.

Lucros

Por fim, definem-se os lucros (equação 61) e o volume do investimento futuro (equação 62). Na primeira equação, a receita por unidade de terra é dada pela multiplicação entre o preço (P) e a produtividade. O diferencial entre a receita e os custos determina o lucro do produtor.

$$\pi_{it} = P \cdot A_{it} - C_{it} \quad (61)$$

Na segunda, o volume do investimento futuro é determinado por uma taxa (r) multiplicada pela receita por área plantada.

$$I_{it+1} = r \cdot (P \cdot A_{it}) \quad (62)$$

Após a apresentação das equações, no que se refere à programação do MEA, faz-se o uso do *software Laboratory for Simulation Development (LSD)*¹⁰⁶, desenvolvido por VALENTE (1999). Serão feitas algumas análises de tendências de quais seriam os principais fatos estilizados, ou mesmo as características econômicas que permaneceriam válidas na agricultura.

Embora as trajetórias de longo prazo estejam imersas em um mundo não-ergódico, dependentes de decisões empresariais e de aspectos cumulativos da dinâmica do progresso técnico e do aprendizado, pode-se identificar alguma regularidade, que possa reduzir a incerteza e direcionar as decisões de longo prazo. Mediante alguns parâmetros iniciais adotados de forma *ad hoc*¹⁰⁷, foi possível obter trajetórias por simulação de um processo de competição entre produtores agrícolas de uma atividade específica.

Para o caso agrícola, a discussão estabelece uma comparação competitiva entre os agricultores de uma mesma atividade localizados em distintas regiões. Os produtores agrícolas competirão no mercado, quando não houver complementaridade tecnológica entre as culturas, por fatores produtivos, pela absorção de uma dada tecnologia e por recursos financeiros, captação e alocação de investimentos.

3.3. Análise e discussão dos resultados

Foram realizadas algumas simulações para investigar o comportamento da dinâmica competitiva do mercado agrícola e das variáveis e parâmetros especificados no modelo evolucionário de aprendizado. Por ser um primeiro estudo, os resultados aqui apresentados são preliminares e bastante gerais em termos do que pode ser oferecido. A análise e a interpretação das simulações procuram construir uma representação gráfica das trajetórias observadas da produtividade, dos custos, dos investimentos, do estoque de conhecimento e da capacidade de absorção.

¹⁰⁶ O APÊNDICE C apresenta toda programação do modelo em linguagem computacional C++.

¹⁰⁷ Para tal pesquisa, foi realizado um tipo de *educated guess*, a fim de determinar as características estruturais do sistema (ver APÊNDICE D).

Nesse sentido, é possível fazer inferência em relação ao comportamento econômico da agricultura. Por meio dos resultados, podem-se comparar não só as estratégias dos agricultores e seus resultados, mas também inferir questões relativas ao desenvolvimento local, distribuído em regiões dinâmicas (mais favorecidas em pesquisa e desenvolvimento) e em regiões passivas (menos favorecidas em termos de investimentos). Este tipo de análise só é possível uma vez que a célula do investimento, no caso os agricultores, é implementada em um ambiente localizado e, portanto, está associada a certa região no espaço geográfico.

Para tanto, pressupõe-se que os produtores são divididos em dois grupos, que se diferenciam apenas na busca por inovação tecnológica (ou aumento da capacidade de absorção). Quanto à estratégia seguidora, os produtores de 1 a 5 foram definidos como imitadores. Já os agricultores de 6 a 10 foram considerados como inovadores por adotarem uma estratégia mais agressiva em gastos com investimento. São os dispêndios temporais em inovação e imitação que diferenciam os dois grupos e que influenciam, por sua vez, a probabilidade de se obter sucesso em cada uma das estratégias.

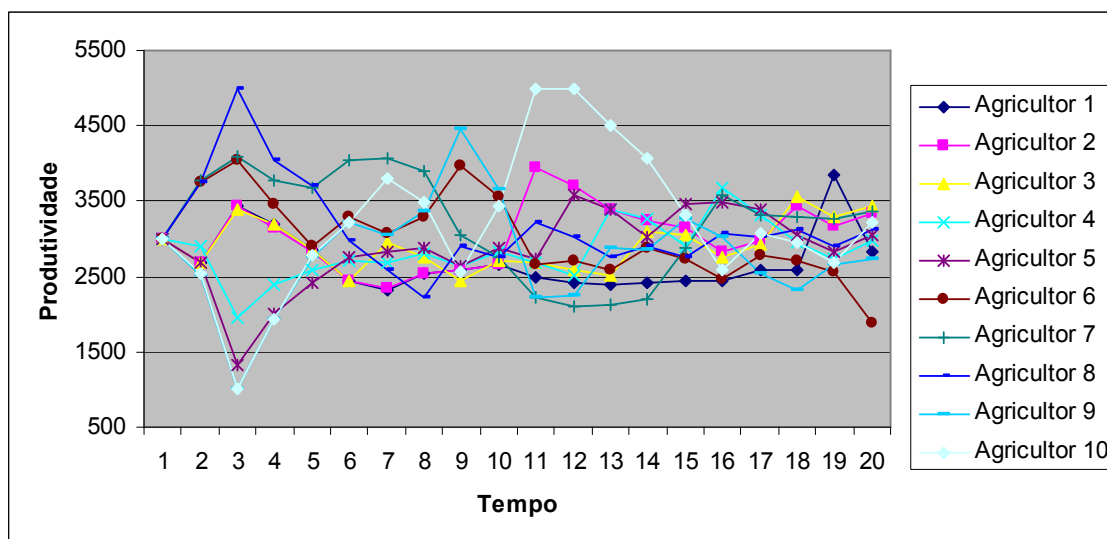


GRÁFICO 1 – Produtividade parcial da terra (quantidade produzida por área) ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria.

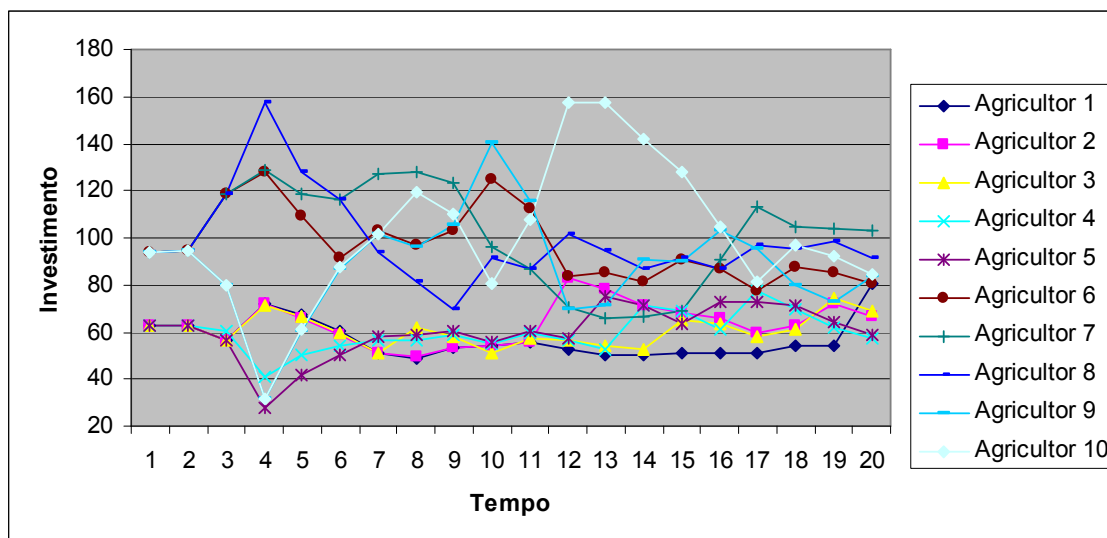


GRÁFICO 2 – Investimento por agricultor em área plantada ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com o GRAF.1, os agricultores inovadores obtiveram, no geral, os melhores resultados em termos de produtividade por área plantada ao longo do tempo, enquanto os produtores imitadores apresentaram menores produtividades. Assim, ao se comparar com o GRAF.2, percebe-se que o esforço em realizar investimento, mesmo com uma elevação dos custos produtivos, compensa os resultados de longo prazo. No curto prazo, alguns agentes imitadores são melhor posicionados, já que estratégias bem sucedidas de imitação levam a resultados também compensadores, mas nunca de vanguarda tecnológica.

Ao se compararem os custos médios entre os produtores, pelo GRAF.3, nota-se que, em média, os inovadores possuem um gasto maior que os imitadores. Este resultado, como mostrado anteriormente, é muito influenciado pelo volume de investimento realizado na produção. Embora o custo seja mais elevado, o desempenho produtivo fica condicionado ao sucesso ou não das buscas inovadoras. Além disso, com o acúmulo de conhecimento, tem-se uma redução do custo médio relativo aos inovadores ao longo do tempo.

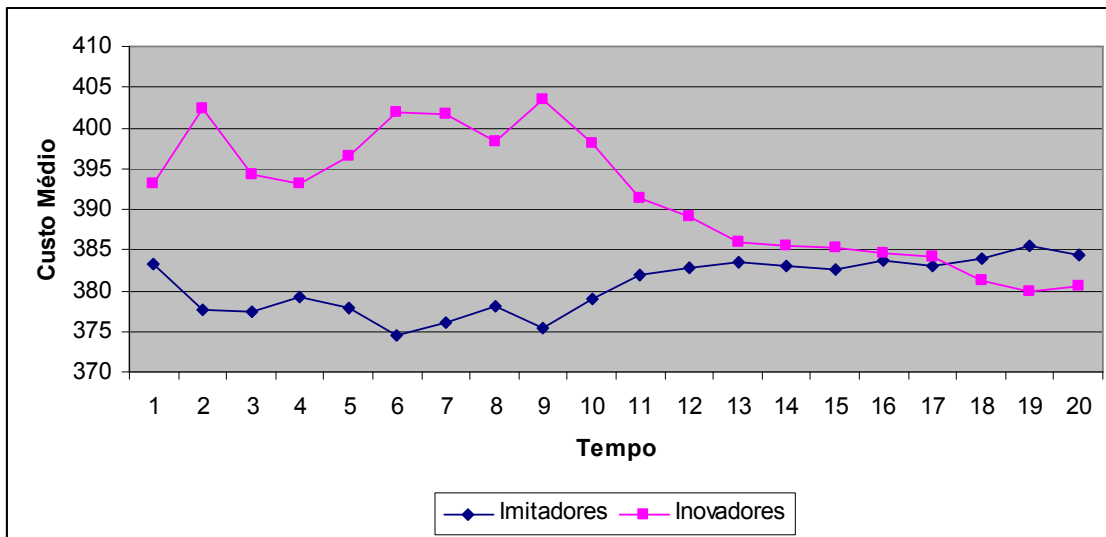


GRÁFICO 3 – Custo médio por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao GRAF.4, apresenta-se a evolução da capacidade de absorção dos produtores. Como esperado, a posição favorável em termos de captação de conhecimentos externos é liderada pelos agricultores inovadores, mesmo que tenham alguns com capacidade de absorção não condizente com os investimentos realizados (no caso, o agricultor 9 e o 10 na retaguarda nos anos iniciais). A tendência é ascendente ao longo do período; porém, o crescimento depende de uma estratégia bem sucedida. No tocante aos produtores imitadores, o *catching up* de capacidade de absorção se dá por degraus (efeito de aprendizado *learning by doing*) e algumas quedas (relativas à depreciação).

O produtor inovador realiza mais investimentos em capacidade de absorção e, por isso, mantém-se na dianteira em termos de captação de conhecimentos externos. O produtor imitador, por sua vez, se bem sucedido, alcança a média da capacidade de absorção do mercado, estando no geral atrás dos produtores inovadores em termos de atualização das informações. Nota-se que o agricultor 3 é um imitador bem sucedido para alguns períodos.

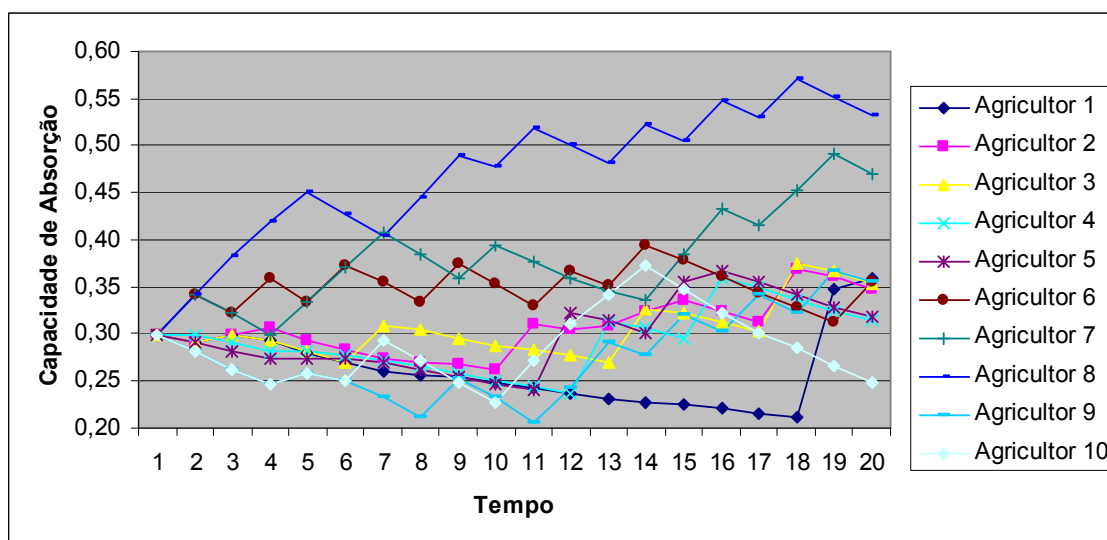


GRÁFICO 4 – Capacidade de absorção por agricultor em área plantada ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria.

Por meio da evolução da produtividade, não fica claro que a busca inovativa traga ganhos significativos aos agricultores inovadores. De qualquer forma, este processo será mais abrupto se for considerado o fato de que agricultores mais produtivos (ou sábios) tenham maiores áreas de produção. Nesse sentido, de acordo com o GRAF.5, tem-se uma comparação da média da capacidade de absorção entre os agentes inovadores e imitadores, bem como a trajetória do desvio-padrão ao longo do tempo. O que fica nítido é que a dispersão se estabiliza com o tempo e, portanto, percebe-se que o fato estilizado nesta situação é que alguns produtores se beneficiam mais que outros, que são marginalizados do processo de produção e absorção de conhecimento tecnológico.

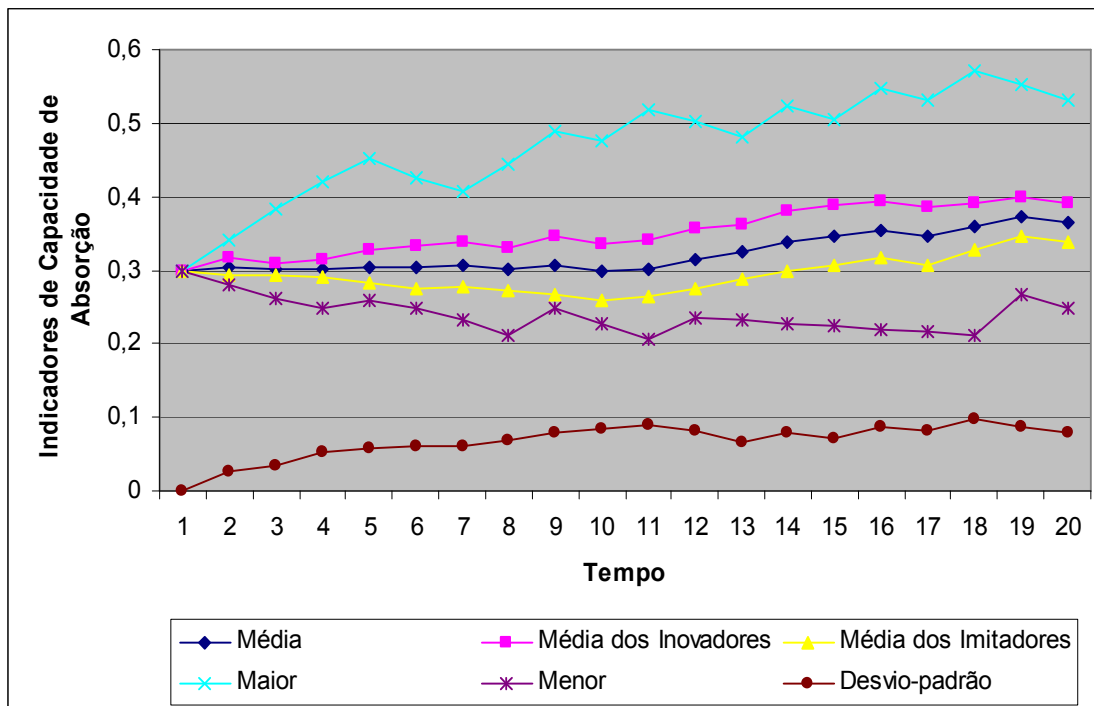


GRÁFICO 5 – Capacidade média de absorção por agricultores inovadores e imitadores, comparada com a amplitude e o desvio-padrão em área plantada ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria.

Além da diferença no comportamento dos produtores (inovadores e imitadores), foram estudados o impacto do aumento dos efeitos de transbordamentos do conhecimento na economia (alto e baixo θ - *spillovers*) e o grau da natureza do conhecimento (codificado ou tácito) no desempenho produtivo. Pelo GRAF.6, percebe-se que, numa economia com elevado efeito de transbordamento e, conseqüentemente, difusão mais fácil dos conhecimentos (maiores os *spillovers*), o estoque de conhecimento é mais elevado. Caso contrário, quando a difusão do conhecimento é mais lenta (baixo *spillover*), a acumulação de conhecimento é menor entre os produtores.

Isto pode significar que regiões com menor grau de comunicação entre os agentes produtivos, ou seja, com baixo efeito de transbordamento, podem alcançar as regiões cujos arranjos produtivos são mais estruturados, desde que o comportamento dos produtores seja de caráter inovador. A inovação tecnológica permite a competição de regiões ou produtores menos favorecidos pelos efeitos

de transbordamentos. Nesse sentido, os agentes inovadores com baixo *spillover* competem em condições com os agentes imitadores com alto *spillover*.

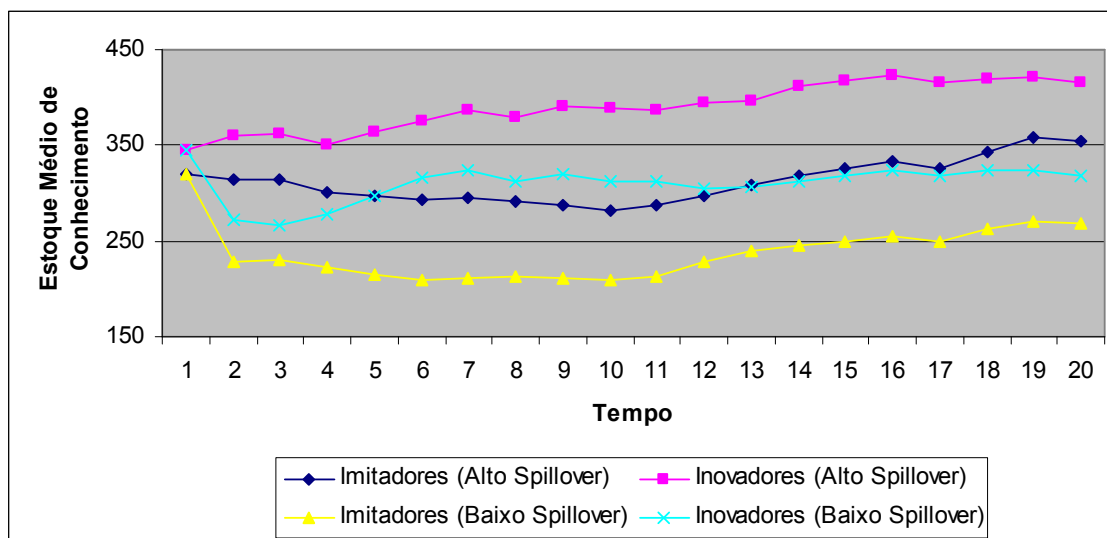


GRÁFICO 6 – Estoque médio de conhecimento em relação ao grau de *spillovers* por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria.

No que se refere à natureza do conhecimento, conforme o GRAF.7, o aumento da capacidade de absorção é mais acentuado na incorporação do conhecimento codificado, já que este é mais amplo e genérico e depende dos conhecimentos básicos da ciência. No que se refere ao conhecimento tácito, tem-se um crescimento mais lento da capacidade de absorção, tanto entre os produtores inovadores quanto imitadores. Verifica-se tal constatação, já que a difusão do conhecimento tácito é mais custosa e, portanto, para um maior crescimento da capacidade de absorção, necessitará de um maior esforço em investimentos.

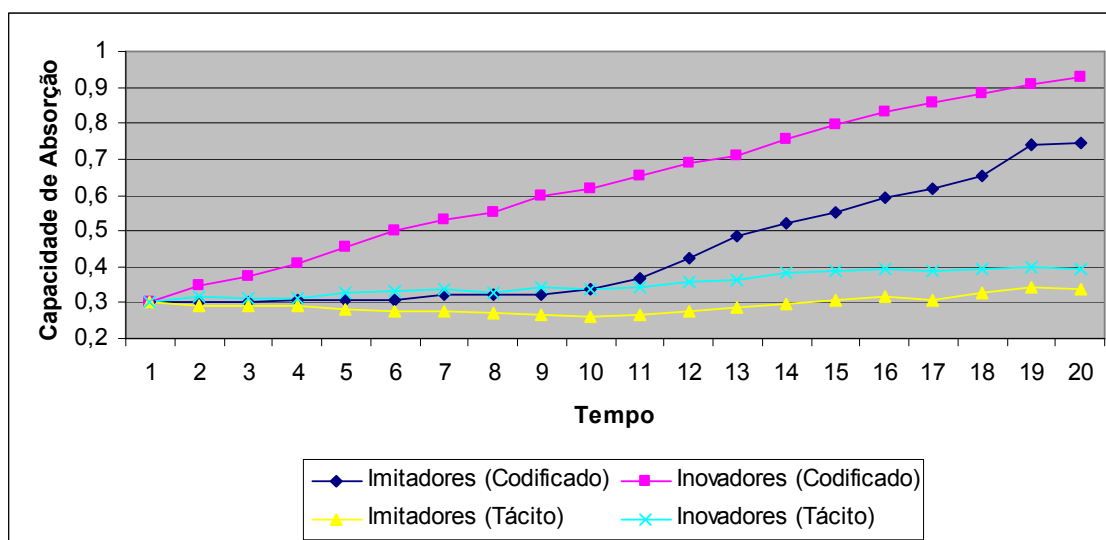


GRÁFICO 7 – Capacidade de absorção média em relação à natureza do conhecimento (codificado e tácito) por agricultores imitadores e inovadores em área plantada ao longo do tempo.

Fonte: Elaboração própria.

A evolução da produção agrícola é vista como um processo ininterrupto de introdução e difusão de novos conhecimentos no “espaço econômico”, no qual os produtores competem por buscas de lucros extraordinários. Os efeitos sociais e econômicos da modernização agrícola têm permitido relativo progresso, mas têm trazido efeitos assimétricos nas sociedades rurais, em nível de renda e produtividade dos produtores tradicionais, em comparação com a moderna agricultura industrial, o que é fruto de uma maior competição pelos insumos tecnológicos e informações. Embora as decisões microeconômicas sejam importantes na diferenciação dos produtores em termos de capacidade de absorção, o caráter institucional é de extrema importância para viabilizar o desenvolvimento de um moderno setor agrícola, já que a oferta das tecnologias depende do fomento da pesquisa pública e de uma estratégia de seleção localizada da inovação.

CONCLUSÕES

A presente tese procurou discutir de que forma a capacidade de absorção de conhecimentos externos e o processo de aprendizado dos produtores agrícolas influenciam no comportamento da mudança tecnológica e nos ganhos produtivos, sabendo-se que as transformações tecnológicas são fundamentais no entendimento do desenvolvimento agrícola. Por meio de tal discussão, foi possível responder ao problema levantado na parte introdutória: qual a forma mais adequada de se tratar a dinâmica do setor agrícola e seus efeitos de transbordamento?

No intuito de responder tal questão, a linha de raciocínio foi dividida em três blocos: marco teórico, aplicação na agricultura e método de análise. O capítulo 1 buscou o aprofundamento do referencial teórico e conceitual. O capítulo 2 inseriu o debate agrícola na abordagem evolucionária. Por último, no capítulo 3, apresentou-se o modelo evolucionário de aprendizado (MEA) na agricultura. Esta estrutura permitiu fazer a ponte da teoria evolucionária sob o enfoque agrícola.

No primeiro bloco, além dos fundamentos teóricos da abordagem evolucionária, foram apresentados modelos de dinâmica industrial e de aprendizado. A sequência da exposição da modelagem se justificou de forma a compatibilizar a evolução gradual dos conceitos: i) concorrência *schumpeteriana*; ii) regimes tecnológicos; iii) processo de difusão; iv) caminhos de dependência e mudanças paradigmáticas; e v) processo de aprendizado.

O segundo bloco buscou identificar a trajetória ampla da agricultura, revisar modelos clássicos da literatura agrícola e enfatizar o aprendizado localizado. A apresentação desse conteúdo se deu no intuito de melhor compreender a mudança tecnológica na agricultura e de situar as decisões e estratégias de investimento na produção, identificando a capacidade de absorção de conhecimentos externos, o aprendizado em rede e as especificidades locais como elementos centrais do debate agrícola.

Algumas lições podem ser retiradas tanto da parte teórica quanto da aplicada. Em termos teóricos, após exposta a modelagem evolucionária, a agricultura deve ser compreendida por meio de duas características básicas: a primeira que diz respeito à competição e a segunda associada ao papel do investimento agrícola na produção. Os agricultores competem por uma melhor e mais eficiente combinação de insumos produtivos a ponto de adquirir vantagens comparativas dinâmicas. O investimento, por sua vez, gera novos produtos ou inovações tecnológicas, mas fundamentalmente, no caso agrícola, aumentos na capacidade de absorção de conhecimento externo.

Quanto ao lado aplicado, o progresso técnico é originado no segmento fornecedor. Mesmo assim, o agricultor é capaz de promover descontinuidades tecnológicas que impactam toda a cadeia produtiva. As habilidades gerenciais são construídas para explorar e captar novas informações. Portanto, o processo de adoção tecnológica condiciona os parâmetros da difusão, e não o contrário. O setor agrícola pode ampliar as oportunidades tecnológicas dos provedores de insumos modernos. O efeito de ação e reação em cadeia proporciona crescimento em nichos tecnológicos, estabelecendo caminhos e trajetórias bem definidas.

Ao se explorar a literatura da difusão do milho híbrido, do dualismo e da inovação induzida, percebe-se que esta concepção de agricultura é insuficiente para explicar os complexos arranjos produtivos de ciência e tecnologia voltados ao crescimento agrícola. Aumentar a produtividade da agricultura não é simplesmente ajustar os parâmetros da difusão, já que estes são influenciados pela dinâmica produtiva. O processo de modernização agrícola não pode ser visto inserido numa lógica de setor retardatário, em que o progresso técnico deteriora a renda do agricultor. No que se refere à inovação induzida, a substituição técnica entre os insumos produtivos é mais complexa do que uma simples alternância dos preços relativos.

A indução tecnológica se associa aos elementos *schumpeterianos* de análise e às mudanças institucionais. A agricultura não pode ser considerada um segmento *dominado pelos fornecedores*, sem a inclusão da dinâmica como um todo. A mudança tecnológica dentro da agricultura é um fenômeno econômico que

compreende os processos de aprendizagem, de geração de conhecimento e de difusão.

Finalmente, no terceiro bloco, desenvolve-se a construção do método analítico. A diferenciação dos produtores é obtida por uma competição tecnológica que visa reduzir custos e aumentar produtividade. Não obstante, considerando-se a existência prévia de um ambiente institucional promotor do desenvolvimento, a magnitude do descolamento do custo e da produtividade depende da capacidade de absorção e do aprendizado de cada agricultor, que são classificados em imitadores (ou seguidores) e inovadores.

Os resultados preliminares mostraram que os produtores inovadores, em média, mantêm posições de vanguarda tecnológica. O aumento da capacidade de absorção auxilia nos ganhos produtivos e nas quedas dos custos. Além disso, numa economia com elevados efeitos de transbordamento, inovadores e imitadores acumulam mais conhecimento do que numa situação de baixo *spillover*. Em relação à natureza do conhecimento, o aumento da capacidade de absorção é mais acentuado na incorporação do conhecimento codificado, já que este é mais amplo e genérico e depende dos conhecimentos básicos da ciência.

Além de levar em conta as suas limitações, acredita-se que o conjunto da tese tenha cumprido a missão de sinalizar de que maneira compreender a dinâmica agrícola, confirmando assim a hipótese proposta. A mudança tecnológica é essencial para compreensão da agricultura e para explicar, por exemplo, como regiões se modernizam mais do que outras. Além disso, a adoção tecnológica via capacidade de absorção e aprendizagem localizada é uma das formas de tratamento adequado da dinâmica do setor agrícola. Este estudo abre também perspectivas para uma investigação mais aprofundada nas áreas de redes sociais e externalidades, uma linha de pensamento na literatura do desenvolvimento e crescimento agrícola pouco explorada na economia evolucionária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOWITZ, Moses. Resource and output trends in the United States since 1870. *American Economic Association*. p.5-23, 1956.

ACHILLADELIS, Basil, SCHWARZKOPF, Albert, CINES, Martin. A study of innovation in the pesticide industry: analysis of the innovation record of industrial sector. *Research Policy*. v.16, p.175-212, 1987.

ACHILLADELIS, Basil, SCHWARZKOPF, Albert, CINES, Martin. The dynamics of technological innovation: the case of chemical industry. *Research Policy*. v.19, p.1-34, 1990.

AGHION, Philippe. HOWITT, Peter. *Endogenous growth theory*. 3.ed. London: The MIT Press, 1999. 694p.

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2004.

ALCHIAN, Armen A. Uncertainty, evolution, and economic theory. *Journal of Political Economy*. v.58, p.211-221, jun. 1950.

ALCHIAN, Armen A., DEMSETZ, Harold. Production, information costs, and economic organization. *The American Economic Review*. v.62, n.5, p.777-795, dez. 1972.

ALLEN, Douglas W., LUECK, Dean. The nature of the farm. *Journal of Law and Economics*. v.41, p.343-386, out. 1998.

ALLEN, Douglas W., LUECK, Dean. *The nature of the farm: contracts, risk and organization in agriculture*. Cambridge: MIT Press, 2003. 258p.

ALMEIDA, Sérgio. *Dinâmica industrial e cumulatividade tecnológica*. Rio de Janeiro: BNDES, 2004. 144p.

ALVES, Eliseu. Inovações na agricultura. In: BUAINAIN, Antônio Márcio (Coord.). *Agricultura familiar e inovação tecnológica no Brasil: características, desafios e obstáculos*. Campinas: Unicamp, 2007. p.213-236.

ARTHUR, W. Brian. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*. v.99, n.394, p.116-131, mar. 1989.

BAPTISTA, Margarida Afonso Costa. *Política industrial: uma interpretação heterodoxa*. Campinas: UNICAMP, 2000. 212p.

BARDHAN, Pranab, UDRY, Christopher. Technological progress and learning. In: _____. *Development microeconomics*. New York: Oxford University Press, 1999. cap.12, p.152-167.

BAUMOL, William J., WOLFF, Edward N. Les dynamiques de déséquilibre et le mécanisme de croissance de la productivité: les implications quant au rôle de la rationalité limitée. *Revue économique*. v.46, n.6, p.1391-1404, nov. 1995.

BELL, Martin, PAVITT, Keith. Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. *Industrial and Corporate Change*. v.2, n.2, p.157-210, 1993.

BRAGAGNOLO, Cassiano, MAFIOTTI, Robson Leandro, SBRISSIA, Gustavo Fischer, TURRA, Flávio Enir. Análise dos custos de produção da soja no Paraná: convencional x transgênica (RR). In: CONGRESSO DA SOBER, 45., 2007, Londrina. *Anais...* Londrina: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2007. 19p.

BRESCHI, Stefano, MALERBA, Franco, ORSENIGO, Luigi. Technological regimes and schumpeterian patterns of innovation. *The Economic Journal*. v.110, p.388-410, abr. 2000.

BUAINAIN, Antônio Márcio (Coord.). *Agricultura familiar e inovação tecnológica no Brasil: características, desafios e obstáculos*. Campinas: Unicamp, 2007. 238p.

BUAINAIN, Antônio Márcio, SOUZA FILHO, Hildo Meirelles de, SILVEIRA, José Maria da. Inovação tecnológica na agricultura e a agricultura familiar. In: LIMA, Dalmo Macedo de Albuquerque, WILKINSON, John. *Inovação nas tradições da agricultura familiar*. Brasília: Paralelo15, 2002. Cap.3, p.47-81.

CASSIOLATO, José Eduardo, LASTRES, Helena Maria Martins. O foco em arranjos produtivos e inovativos locais de micro e pequenas empresas. In: LASTRES, Helena Maria Martins, CASSIOLATO, José Eduardo, MACIEL, Maria Livia (Orgs.). *Pequena empresa, cooperação e desenvolvimento local*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2003. Cap.1, p.21-34.

CERQUEIRA, Hugo E. da Gama. *Economia evolucionista: um capítulo sistêmico da teoria econômica?* Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 2000. 27p. (Texto para Discussão, 150)

CHIAROMONTE, F., DOSI, Giovanni. 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, Francesca, DOSI, Giovanni, ORSENIGO, Luigi. Innovative learning and institutions in the process of development: on the microfoundation of

growth regimes. In: THOMSON, Ross (Org.). *Learning and technological change*. UK: Macmillan Press, 1993. p.117-149.

COHEN, Wesley M., LEVINTHAL, Daniel A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*. v.35, p.128-152, mar. 1990.

COHEN, Wesley M., LEVINTHAL, Daniel A. Innovation and learning: the two faces of R&D. *The Economic Journal*. v.99, p.569-596, set. 1989.

COWAN, R., JONARD, N. The dynamics of collective invention. *Journal of Economic Behavior and Organization*. v.52, p.513-532, 2003.

COXHEAD, Ian A. Environment-specific rates and biases of technical change in agriculture. *American Journal Agricultural Economics*. v.74, p.592-604, ago. 1992.

DAVID, P. *A contribution to the theory of diffusion*. Stanford: Stanford Center for Research of Economic Growth, 1969. (Texto para Discussão, 71) *apud* SILVERBERG, Gerald, DOSI, Giovanni, ORSENIGO, Luigi. Innovation, diversity and diffusion: a self-organisation model. *The Economic Journal*. v.98, p.1032-1054, dez. 1988.

DAVID, Paul A. Clio and the economics of QUERTY. *The American Economic Review*. v.75, n.2, p.332-337, mai. 1985.

DAVIES, S. *The diffusion of process innovation*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979. *apud* SILVERBERG, Gerald, DOSI, Giovanni, ORSENIGO, Luigi. Innovation, diversity and diffusion: a self-organisation model. *The Economic Journal*. v.98, p.1032-1054, dez. 1988.

DENISON, Edward F. The unimportance of the embodied question. *The American Economic Review*. v.54, n.2, p.90-93, mar. 1964.

DEQUECH, David. The new institutional economics and the theory of behaviour under uncertainty. *Journal of Economic Behavior and Organization*. v.59, p.109-131, 2006.

DIEDEREN, Paul, MEIJL, Hans van, WOLTERS, Arjan. Modernization in agriculture: what makes a farmer adopt an innovation? In: EAAE Congress "Exploring diversity in the European agri-food system", 10., 2002, Zaragoza. *Anais...* Zaragoza: EAAE, 2002. p.12.

DOPFER, Kurt. Evolutionary economics: a theoretical framework. In: DOPFER, Kurt. *The evolutionary foundations of economics*. United Kingdom: Cambridge University Press, 2005. Cap.1, p.3-55.

DOSI, Giovanni, EGIDI, M. Substantive and procedural uncertainty: an exploration of economic behaviours in changing environments. *Journal of Evolutionary Economics*. n.1, p.145-168, abr. 1991.

DOSI, Giovanni. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*. v.26, p.1120-1171, set. 1988.

DOSI, Giovanni. *Technical change and industrial transformation*. New York: St. Martin's Press, 1984. 338p.

DOSI, Giovanni. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*. v.11, p.147-162, 1982.

ERICSON, Richard, PAKES, Ariel. Markov-perfect industry dynamics: a framework for empirical work. *Review of Economic Studies*. v.62, p.53-82, 1995.

ESPOSTI, Roberto. Public agricultural R&D design and technological spill-ins: a dynamic model. *Research Policy*. v.31, p.693-717, 2002.

ESSELETZBICHLER, Jürgen, RIGBY, David L. Exploring evolutionary economic geographies. *Journal of Economic Geography*. v.7, p.549-571, jun. 2007.

EVENSON, Robert E. Food and population: D. Gale Johnson and the green revolution. *Economic Development and Cultural Change*. v.52, n.3, p.543-569, abr. 2004.

EVENSON, Robert E. *GMO's: prospects for increased crop productivity in developing countries*. New Haven: Yale University, 2003. 21p. (Texto para Discussão, 878)

EVENSON, Robert E. Inventions intended for use in agriculture and related industries: international comparisons. *American Agricultural Economics Association*. p.887-891, ago. 1991.

EVENSON, Robert E., KISLEV, Yoav. Research and productivity in wheat and maize. *The Journal of Political Economy*. v.81, n.6, p.1309-1329, nov. 1973.

FAO – Food and Agriculture Organization. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture (The State of Food and Agriculture - SOFA)*. 2000.

FARINA, Elizabeth Maria Mercier Querido, AZEVEDO, Paulo Furquim de, SAES, Maria Sylvia Macchione. *Competitividade: mercado, estado e organizações*. São Paulo: Singular, 1997. 286p.

FONSECA, Maria da Graça Derengowski. *Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para a Agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas*. 1990. 249f. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Unicamp, Campinas.

FORAY, Dominique, LES BAS, C. Diffusion de l'innovation dans l'industrie et fonction de recherche technique: dichotomie ou intégration. *Economie Appliquée*. v.39, n.3, p.615-650, 1986.

FORAY, Dominique. Les modèles de compétition technologique: une revue de la littérature. *Revue d'Économie Industrielle*. n.48, p.16-34, abr. 1989.

FOSTER, Andrew D., ROSENZWEIG. 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, dez. 1995.

GASQUES, José Garcia, BASTOS, Eliana Teles, BACCHI, Mirian P. R., CONCEIÇÃO, Júnia Cristina P. R. da. *Condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira*. Brasília: IPEA, 2004a. 29p. (Texto para Discussão, 1017)

GASQUES, José Garcia, CONCEIÇÃO, Júnia Cristina P. R. da. *Transformações estruturais da agricultura e produtividade total dos fatores*. Brasília: IPEA, 2000. 60p. (Texto para Discussão, 768)

GASQUES, José Garcia, RESENDE, Gervásio Castro de, VERDE, Carlos Monteiro Villa, SALERMO, Mário Sérgio, CONCEIÇÃO, Junia Cristina P. R. da, CARVALHO, João Carlos de Souza. *Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil*. Brasília: IPEA, 2004b. 39p. (Texto para Discussão, 1009)

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

GRILICHES, Zvi. Hybrid corn revisited: a reply. *Econometrica*. v.48, n.6, p.1463-1465, set. 1980.

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

GROSSMAN, Gene M., HELPMAN, Elhanan. Endogenous innovation in the theory of growth. *Journal of Economic Perspectives*. v.8, n.1, p.23-44, dez. 1994.

HAYAMI, Yujiro, RUTTAN, Vernon W. *Desenvolvimento agrícola: teoria e experiências internacionais*. Tradução de Maria Vittoria von Bulow e Joachim S. W. von Bulow. Brasília: EMBRAPA, 1988. 583p. Título original: *Agricultural development; an international perspective*.

HIRSCHMAN, Albert. Transmissão inter-regional e internacional do crescimento econômico. In: SCHWARTZMAN, Jacques (Org.). *Economia regional: textos escolhidos*. Belo Horizonte: CEDEPLAR, 1977. p.35-52.

HUFFMAN, Wallace E., EVENSON, Robert E. Contributions of public and private science and technology to U.S. agricultural productivity. *American Agricultural Economics Association*. p.751-756, ago. 1992.

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

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

JOHNSON, D. Gale. Population, food and knowledge. *The American Economic Review*. v.90, p.1-14, mar. 2000.

JOHNSON, Daniel K. N., EVENSON, Robert E. How far away is Africa? Technological spillovers to agriculture and productivity. *American Agricultural Economics Association*. v.82, p.743-749, 2000.

JONARD, Nicolas, YILDIZOGLU, Murat. Technological diversity in an evolutionary industry model with localized learning and network externalities. *Structural Change and Economic Dynamics*. v.9, p.35-53, 1998.

JORGENSEN, D. W., GRILICHES, Z. The explanation of productivity change. *The Review of Economic Studies*. v.34, n.3, p.249-283, jul. 1967.

KLEVORICK, Alvin K., LEVIN, Richard C., NELSON, Richard R., WINTER, Sidney G. On the sources and significance of interindustry differences in technological opportunities. *Research Policy*. v.24, p.185-205, 1995.

LANE, David A. Artificial worlds and economics, part I. *Journal of Evolutionary Economics*. v.3, p.89-107, 1993a.

LANE, David A. Artificial worlds and economics, part II. *Journal of Evolutionary Economics*. v.3, p.177-197, 1993b.

LANGLOIS, Richard N., EVERETT, Michael J. What is evolutionary economics? In: MAGNUSSON, Lars. *Evolutionary and neo-schumpeterian approaches to economics*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994. cap.2, p.11-47.

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

LOPES, Maurício. *Novos desafios do agronegócio brasileiro*. Fórum do agronegócio. Campinas: CORI-UNICAMP, Instituto de Economia, em 26/03/2003 (palestra).

LUNDVALL, B. Innovation as an interactive process from user-producer interaction to the National System of Innovation. In: DOSI, G. *et. al.* (Orgs.). *Technical change and economic theory*. London: Pinter Publishers, 1988.

LUNDVALL, B. *National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter Publishers, 1992. 342p.

MAIWALD, Peter. Outline of the state of the innovation theory. In: GRUPP, Hariolf. *Foundations of the economics of innovation: theory, measurement and practice*. United Kingdom: Edward Elgar, 1998. Cap.2, p.48-96.

MALERBA, Franco, ORSENIGO, Luigi. Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific. *Research Policy*. v.25, p.451-478, 1996.

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

MANKIW, Gregory, ROMER, David, WEIL, David N. A contribution to the empirics of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, v.107, n.2, p.407-437, mai. 1992.

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

MCKELVEY, Maureen. Evolutionary innovations: learning, entrepreneurship and the dynamics of the firm. *Journal of Evolutionary Economics*. v.8, p.157-175, 1998.

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

MOWERY, David C., ROSENBERG, Nathan. *Trajetórias da inovação: a mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX*. Tradução de Marcelo Knobel. Campinas: Unicamp, 2005. 230p. Título original: *Paths of innovation: technological change in 20th-century America*.

NELSON, Richard R., WINTER, Sidney G. In search of useful theory of innovation. *Research Policy*. v.6, p.36-76, 1977.

NELSON, Richard R., WINTER, Sidney. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1982.

NICHOLLS, William H. Paiva e o dualismo tecnológico na agricultura: um comentário. *Pesquisa e Planejamento*. v.3, n.1, p.15-50, mar. 1973.

NOAILLY, Joelle. *Coevolution of economic and ecological systems: an application to agricultural pesticide resistance*. Netherlands: Vrije Universiteit Amsterdam, 2006. 36f. Mimeografado.

OLSON, Mancur. *The logic of collective action: public goods and the theory of groups*. Cambridge: Harvard University Press, 1971. 186p.

OLTRA, Vanessa. *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.

PAIVA, Ruy Miller. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura. *Pesquisa e Planejamento*. v.1, n.2, p.171-234, dez. 1971.

PAIVA, Ruy Miller. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura: respostas aos comentários dos professores Nicholls e Schuh. *Pesquisa e Planejamento*. v.3, n.1, p.95-116, mar. 1973.

PAIVA, Ruy Miller. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura: uma reformulação. *Pesquisa e Planejamento*. v.5, n.1, p.117-161, jun. 1975.

PAVITT, Keith. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*. v.13, p.343-373, jan. 1984.

PENROSE, Edith Tilton. Biological analogies in the theory of the firm. *The American Economic Review*. v.42, n.5, p.804-819, dez. 1952.

PERROUX, François. O conceito de pólo de crescimento. In: SCHWARTZMAN, Jacques (Org.). *Economia regional: textos escolhidos*. Belo Horizonte: CEDEPLAR, 1977. p.145-156.

PONDÉ, J. L. de Souza. *Processos de seleção, custos de transação e a evolução das instituições empresariais*. 2000. 250f. Tese (Doutorado) – Unicamp, São Paulo.

POSSAS, Mário Luiz, SALLES-FILHO, Sérgio, SILVEIRA, José Maria da. An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks. *Research Policy*. v.25, p.933-945, fev. 1996.

POSSAS, Mário Luiz. Elementos para uma integração micro-macrodinâmica na teoria do desenvolvimento econômico. *Revista Brasileira de Inovação*. Rio de Janeiro, v.1, n.1, p.123-149, jan/jun. 2002.

RUTTAN, Vernon W. Induced innovation, evolutionary theory and path dependence: sources of technical change. *The Economic Journal*. v.107, n.444, p.1520-1529, set. 1997.

SADOULET, Elisabeth, DE JANVRY, Alain. Transactions costs and agrarian institutions. In: _____. *Quantitative development policy analysis*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1995. cap.9, p.241-272.

SAHAL, Devendra. *Patterns of technological innovation*. New York: Addison-Wesley, 1981a. 377p.

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

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

SALLES-FILHO, Sérgio Luis M., SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim da. Relações agricultura/ indústria, complexos agroindustriais e a dinâmica concorrencial. In: CONGRESSO DA SOBER, 29., 1991, Brasília. *Anais...* Brasília: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 1991. 19p.

SCHUH, G. Edward. Modernização e dualismo tecnológico na agricultura: alguns comentários. *Pesquisa e Planejamento*. v.3, n.1, p.51-94, mar. 1973.

SCHULTZ, Theodore William. *Transforming traditional agriculture*. New Haven: Yale University Press, 1964.

SCHUMPETER, Joseph Alois. *Capitalismo, socialismo y democracia*. Buenos Aires: Claridad, 1946. 431p. Título original: *Capitalism, socialism and democracy*.

SCHUMPETER, Joseph Alois. *História da análise econômica* (Vol. 2). São Paulo: Fundo de Cultura, 1964.

SCHUMPETER, Joseph Alois. *Teoría del desenvolvimiento económico: una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. México: Fondo de Cultura Económica, 1944. 363p.

SCHUMPETER, Joseph Alois. The creative response in economic history. *The Journal of Economic History*. v.7, n.2, p.149-159, nov. 1947.

SCHUMPETER, Joseph Alois. The instability of capitalism. *The Economic Journal*. v.38, n.151, p.361-386, set. 1928.

SILVA, César Roberto Leite da. *Inovação tecnológica e distribuição de renda: impacto distributivo dos ganhos de produtividade da agricultura brasileira*. São Paulo: IEA, 1995. 245p.

SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim da, BORGES, Izaías de Carvalho, FONSECA, Maria das Graças Derengowski. Biotecnologia e desenvolvimento de mercados: novos desafios, novos conceitos? In: RAMOS, Pedro (Org.). *Dimensões do agronegócio brasileiro: políticas, instituições e perspectivas*. Brasília: MDA, 2007. p.318-357.

SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim da. *Inovação tecnológica e crescimento: das teorias de inovação induzida às teorias de crescimento endógeno*. 2002. 225f. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Unicamp, Campinas.

SILVEIRA, José Maria Ferreira Jardim da. *Progresso técnico e oligopólio: as especificidades da indústria de sementes no Brasil*. 1985. 158f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Economia, Unicamp, Campinas.

SILVERBERG, Gerald, DOSI, Giovanni, ORSENIGO, Luigi. Innovation, diversity and diffusion: a self-organisation model. *The Economic Journal*. v.98, p.1032-1054, dez. 1988.

SIMON, Herbert A. *Bounded rationality*. London: MIT Press, 1987.

SIMON, Herbert A. From substantive to procedural rationality. In: HAHN, F., HOLLIS, M. (Orgs.). *Philosophy and economic theory*. London: Oxford University Press, 1979.

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

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

STOKES, Donald E. *O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica*. Tradução de José Emílio Maiorino. Campinas: Unicamp, 2005. 246p. Título original: *Pasteur's quadrant: basic science and technological innovation*.

STONEMAN, P. IRELAND, N. J. The role of supply factors in the diffusion of new process technology. *Economic Journal*. Conference Papers, v.93, p.65-77, 1983. *apud* SILVERBERG, Gerald, DOSI, Giovanni, ORSENIGO, Luigi. Innovation, diversity and diffusion: a self-organisation model. *The Economic Journal*. v.98, p.1032-1054, dez. 1988.

SURI, Tavneet. *Selection and comparative advantage in technology adoption*. New Haven: Yale University, 2006. 33p. (Texto para Discussão, 944)

TEECE, David J, PISANO, Gary, SHUEN, Amy. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*. v.18, n.7, p.509-533, mar. 1997.

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

TEECE, David J. Firm organization, industrial structure, and technological innovation. *Journal of Economic Behavior and Organization*. v.31, p.193-224, 1996.

TIROLE, Jean. *The theory of industrial organization*. Cambridge: The MIT Press, 1988. 479p.

TRIGO, Eduardo, CHUDNOVSKY, Daniel, CAP, Eugênio, LÓPEZ, Andrés. *Genetically modified crops in Argentine agriculture: na open ended story*. Buenos Aires: Libros del Zorzal, 2002. 122p.

VALENTE, Marco. *Evolutionary economics and computer simulation: a model for the evolution of markets*. 1999. v.1-3 Tese (Doutorado) – University of Aalborg, Denmark.

VEIGA, José Eli da. Uma linha estratégica de desenvolvimento agrícola. *Revista de Economia Política*. v.12, n.2, p.88-105, abr./jun. 1992.

VERCELLI, A. Keynes, Schumpeter, Marx and the structural instability of capitalism. In: DELEPLACE, G., MAURISSON, P. (Org.) *L'heterodoxie dans la pensee economique*: K. Marx, J. M. Keynes et J. A. Schumpeter. Paris: Anthropos, 1984.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro, CAMPOS, Antônio Carvalho, FERREIRA, Carlos Maurício de Carvalho. Abordagem alternativa do crescimento agrícola: um modelo de dinâmica evolucionária. *Revista Brasileira de Inovação*. v.4, n.2, p.425-476, jul./dez. 2005.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. *Abordagem evolucionária da dinâmica do setor agrícola*. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado em Economia) – UFV, Viçosa.

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

APÊNDICES

Apêndice A – Curva de Demanda com Elasticidade Unitária

A curva de demanda inversa pode ser descrita como sendo o preço função da quantidade. Tem-se:

$$p = F(q), \quad F'(q) = \frac{dp}{dq} < 0 \quad (1a)$$

A receita total é dada pelo produto do preço pela quantidade,

$$RT = p \cdot q = q \cdot F(q), \quad (2a)$$

e a receita marginal é

$$Rmg = \frac{d[q \cdot F(q)]}{dq} = F(q) + q \cdot F'(q) = p + q \cdot \frac{dp}{dq}. \quad (3a)$$

Colocando-se o preço em evidência no lado direito da equação (3a):

$$Rmg = p \cdot \left(1 + \frac{q}{p} \frac{dp}{dq} \right). \quad (4a)$$

Por definição, a elasticidade preço da demanda é

$$\eta = - \frac{dq}{dp} \frac{p}{q}. \quad (5a)$$

Substituindo-se a equação (5a) na equação (4a), chega-se a equação da receita marginal relacionada com a elasticidade preço da demanda:

$$Rmg = p \cdot \left(1 - \frac{1}{\eta} \right). \quad (6a)$$

Quando a elasticidade da demanda é constante ao longo de toda a curva da demanda, diz-se que a curva é isoelástica. A FIGURA A1 mostra uma curva de demanda com essa propriedade.

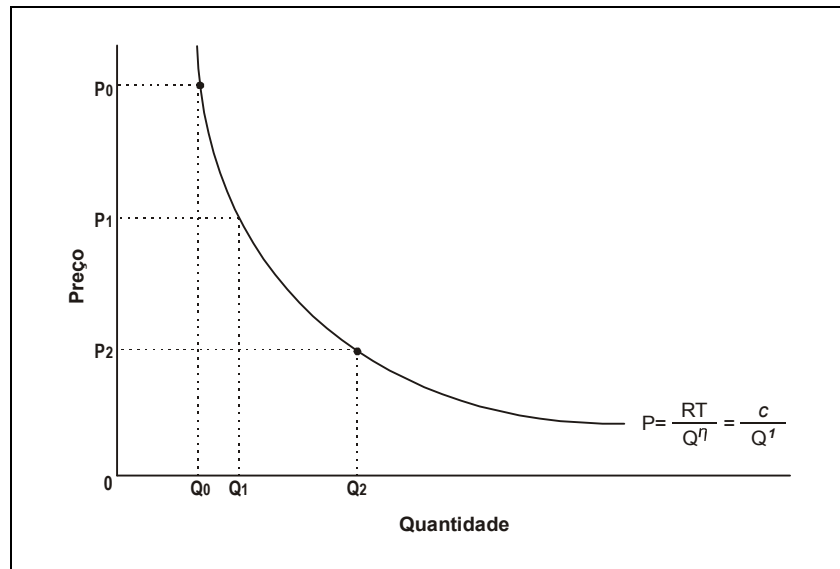


FIGURA A1 – Curva de demanda de elasticidade unitária.
Fonte: Elaboração própria.

Se a curva de demanda tem elasticidade unitária, a receita marginal é zero e, portanto, a receita total é constante. Uma redução do preço, por exemplo, ocasionaria um aumento da quantidade demandada, mas de tal forma que o aumento fosse suficiente para deixar o gasto total inalterado. De forma algébrica, se $\eta = 1$, então $Rmg = 0$ e a $RT = c$, onde c é uma constante.

Apêndice B – Produtividade Total dos Fatores

A produção agrícola (P) pode ser expressa pelo produto da área plantada (A) com o rendimento (Y):

$$P = A.Y \quad (1b)$$

A taxa de crescimento da produção (G_P) é a soma das taxas de crescimento da superfície (G_A) e da taxa de crescimento do rendimento (G_Y):

$$G_P = G_A + G_Y, \quad (2b)$$

A produção agrícola (ou pecuária) (P) pode também ser expressa como função de fatores, tais como área plantada (A), trabalhadores (W), serviços de mecanização (M) e fertilizantes (F):

$$P = f(A, W, M, F), \quad (3b)$$

A taxa de crescimento da produção (G_P) pode ser definida pela soma ponderada dos custos de cada um dos fatores produtivos multiplicados pelas suas respectivas taxas de crescimento, somando-se ao valor um termo residual referente ao crescimento da produtividade total dos fatores (G_{PTF}):

$$G_P = S_A.G_A + S_W.G_W + S_M.G_M + S_F.G_F + G_{PTF} \quad (4b)$$

Esta expressão define exatamente a produtividade total dos fatores como sendo a taxa da produção (P) à um índice global de fatores dado por (I). A taxa de crescimento deste índice é dada por:

$$G_I = S_A.G_A + S_W.G_W + S_M.G_M + S_F.G_F \quad (5b)$$

Então;

$$G_{PTF} = G_P - G_I \quad (6b)$$

O crescimento da produtividade total de fatores é, assim, a diferença entre a taxa efetiva de crescimento da produção (G_P) e a taxa de crescimento relativa aos fatores produtivos (G_I), caso não haja mudança tecnológica nem melhoria da eficiência dos produtores. A taxa de crescimento da produção pode assegurar a média do uso adequado de fatores ou de uma utilização mais eficiente dos mesmos. É por esta utilização mais eficiente que se exprime o crescimento da produtividade total de fatores.

Apêndice C – Programação do Modelo em C++

```
#include "fun_head.h"

MODELBEGIN

EQUATION("A")
/*
Productive of the farm
*/

v[0]=V("a") * VL("A", 1) + (1 - V("a")) * V("Af") + UNIFORM(-10, 10);

if (v[0] > 5000) {

    v[0] = 5000;

}

if (v[0] < 1000) {

    v[0] = 1000;

}
RESULT(v[0]) // Pendencia calibrar

EQUATION("Af")
/*
Final productive
*/
RESULT(V("x") * V("T") + V("A0"))

EQUATION("T")
/*
The agricultural knowledge rate into the market
*/
RESULT((V("z") - V("az")) / V("az"))

EQUATION("az")
/*
Average z.
*/
STAT("z");
RESULT(v[1])

EQUATION("z")
```

```

/*
Knowledge increase rate.
*/
RESULT((V("Z") - VL("Z", 1)) / VL("Z", 1))

EQUATION("Z")
/*
Farm stock knowledge.
*/
RESULT(V("I") + V("g") * (V("t") * (SUM("I") - V("I")) + V("E")))

EQUATION("msi")
/*
Investment Market Share
*/
RESULT(VL("I", 1) / SUML("I", 1))

EQUATION("Prob_IM")
/*
Success Probability of imitation
*/
RESULT(V("msi") / V("IM_S"))

EQUATION("Prob_IN")
/*
Success Probability of innovation
*/
RESULT(V("msi") / V("IN_S"))

EQUATION("g")
/*
Absorptive Capacity - AC.

Inn = 0, imitator
Inn = 1, innovator
*/
v[0] = 0;

if (V("Inn") == 0) {
    if (RND <= V("Prob_IM")) { // Success imitation
        v[0] = max(VL("g", 1), VL("gmean", 1));
    } else {
        v[0] = min(VL("g", 1), VL("g", 1) + V("b") / sqrt(VL("I", 1) - V("Dp")));
    }
} else {
    if (RND <= V("Prob_IN")) { // Success innovation

```

```

    v[0] = VL("g", 1) + V("b") / sqrt(VL("I", 1));
  } else {
    v[0] = VL("g", 1) + V("b") / sqrt(VL("I", 1)) - V("Dp");
  }
}

```

```

if (v[0] > 1) {

```

```

    v[0] = 1;

```

```

}
RESULT(v[0])

```

```

EQUATION("gmean")

```

```

/*

```

```

Farms AC average.

```

```

*/

```

```

v[0] = 0;

```

```

v[1] = 0;

```

```

CYCLE(cur, "Farm")

```

```

{

```

```

    v[0] = v[0] + VLS(cur, "g", 1);

```

```

    v[1] = v[1] + 1;

```

```

}

```

```

RESULT(v[0] / v[1])

```

```

EQUATION("C")

```

```

/*

```

```

Cost function

```

```

*/

```

```

RESULT(((V("CO") * (1 - (V("f") * V("g")))) + V("I"))))

```

```

EQUATION("p")

```

```

/*

```

```

Profit function

```

```

*/

```

```

RESULT(V("price") * V("A") - V("C"))

```

```

EQUATION("I")

```

```

/*

```

```

Investment function

```

```

*/

```

```

RESULT(V("r") * V("price") * VL("A", 1))

```

```

MODELEND

```

```
void close_sim(void)
{
}
}
```

Apêndice D – Condições iniciais e valores dos parâmetros

TABELA D – Valores iniciais das variáveis e dos parâmetros do MEA.

Correspondência no modelo	Variável	Valores
A	Produtividade	3000 kg/ha
	Custos de Produção	Operações
		Insumos
		Administração
		Pós-colheita
CO	Custo Operacional Total	330 US\$/ha
$P.A$	Receita	627 US\$/ha
P	Preço Médio	0,21 US\$/kg
I	Investimento do Inovador	94 US\$/ha
	Investimento do Imitador	63 US\$/ha
γ	Capacidade de Absorção	0,3
θ	Alto spillover	0,7
	Baixo spillover	0,3
β	Conhecimento Codificado	0,7
	Conhecimento Tácito	0,4
σ	Depreciação da Capacidade de Absorção	0,06
ψ	Redutor de Custo Inovador	0,3
	Redutor de Custo Imitador	0,1
E	Conhecimento Externo	350
Z	Estoque de Conhecimento do Inovador	344
	Estoque de Conhecimento do Imitador	320
α	Velocidade do Aprendizado	0,7
χ	Par	350
	Custo Total por Quantidade	0,11 US\$/kg
	Resultado	296 US\$/ha
	Margem sobre a venda	0,473
	Região de Referência	SP
	Dólar médio de referência	2,881

Fonte: Elaboração própria com base no AGRIANUAL (2004).