



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Instituto de Economia

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E CRESCIMENTO:
DA TEORIA DA INOVAÇÃO INDUZIDA ÀS TEORIAS DE
CRESCIMENTO ENDÓGENO

José Maria Ferreira Jardim da Silveira

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 da Profa. Dra. Angela
Antonia Kageyama.

*Este exemplar corresponde ao original
da tese defendida por José Maria
Ferreira Jardim da Silveira em
28/02/2002 e orientada pela Profa. Dra.
Angela Antonia Kageyama.*

CPG, 28/02/2002

A handwritten signature in cursive script, reading "Angela Antonia Kageyama", written over a horizontal line.

Campinas, 2002

i
UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

UNIDADE	Si39i
Nº CHAMADA T/UNICAMP	Si39i
V	ES
TOMBO BC	48488
PROC.	16-837102
C	<input type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	
Nº CPD	

CM00166701-5

BIB ID 239990

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO
CENTRO DE DOCUMENTAÇÃO DO INSTITUTO DE ECONOMIA**

Si39i Silveira, José Maria Ferreira Jardim da.
Inovação tecnológica e crescimento : da teoria da inovação induzida às teorias de crescimento endogeno / José Maria Ferreira Jardim da Silveira. – Campinas, SP :[s.n.], 2002.

Orientador: Angela Antonia Kageyama.
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.
Instituto de Economia.

1. Desenvolvimento economico. 2. Inovação tecnológica. 3. Crescimento endogeno. 4. Mecanismos de indução tecnológica.
I. Kageyama, Angela A. (Angela Antonia). II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.

RESUMO

A tese discute a Teoria da Inovação Induzida (TII) do ponto de vista de sua coerência com modelos macroeconômicos de crescimento. De início analisa-se a teoria em sua relação com os modelos de crescimento tradicionais, do tipo Solow-Swan, focalizando o papel da indução tecnológica em diferentes tipos de trajetórias, a partir das distintas definições de viés e do mecanismo de indução tecnológica. Em seguida, desenvolve-se um modelo microeconômico de indução e se analisa como ele pode ser integrado nos modelos macroeconômicos de crescimento endógeno. Obtém-se como conclusão que o estatuto de teoria dado aos mecanismos de indução tecnológica é exagerado. A presença de mecanismos de indução tecnológica ocorre em situações particulares, quando se considera a existência dos mecanismos derivados da decisão de realizar gastos de P&D e que resultam em um impulso sustentado ao crescimento econômico. A decisão de gastos em P&D em um modelo de crescimento endógeno causa efeitos que não são antecipados pelo agente privado que decide a inovação. O efeito da inovação sobre o conjunto de agentes inovadores também altera as condições com que o processo de inovação ocorre, tornando o mecanismo de indução de pequena relevância em uma dinâmica inovativa de longo prazo.

Palavras-chave: inovação tecnológica, crescimento endógeno, mecanismos de inovação tecnológica.

Agradecimentos

A prof. Ângela Kageyama tem tantas qualidades conhecidas por todos que mencioná-las seria redundante. Todavia, este trabalho serviu para revelar-me mais: a paciência de Jó e um grande conhecimento da alma das pessoas. Para alguns, a fina e inteligente ironia é o melhor remédio. Competência, apuro técnico, raciocínio de lógica irretocável e a vocação para ser professora para ela são tão naturais quanto tocar piano, cuidar dos animais domésticos e mimar a filha.

Em vários momentos os membros do NEA, várias colegas e autoridades do IE tomaram iniciativas na intenção de ajudar-me. *Carrot and Stick*. A todos, agradeço o respeito com que fui tratado.

O GEOPI do Instituto de Geociências é um ambiente em que cooperação é resultado do gosto pela pesquisa, pelo desafio acadêmico e pelo trabalho sério, tudo isso com direito a boas risadas.

Dizer que ao longo desses 17 anos no IE tive muitos parceiros pode dar margem a dúbias interpretações. A todos que me honraram em aceitar-me como co-autor em algum trabalho, meus agradecimentos. Nenhum deles, salvo minha orientadora, Mario Possas e Otaviano Canuto, são responsáveis por esta tese-teimosa.

Amigos tenho vários, gente séria e divertida. Não foi a longa convivência a responsável pela extrema amizade: foi a identidade intelectual, ideológica, a visão de mundo e o gosto pela crítica que nos manteve cooperando e desenvolvendo atividades que sempre me orgulharam. Em torno de cada um deles construí outras amizades que perduram e se ampliam. Citar cada uma delas me tomaria quase tanto tempo quanto o que levei para fazer este trabalho. Menciono Antonio Marcio Buainain, Sérgio Salles-Filho, Otaviano Canuto, Hamilton Ferreira e Maria da Graça Fonseca como dignos representantes de todos eles.

A atividade de professor só se revela dura quando encontramos alguém que nos reconhece e não lembramos seus nomes. Minha memória é muito, mas mencionar alguns deles seria injusto. A todos, minha admiração pelo que já fazem de bom em economia.

Mário Possas, Pedro Valls Pereira, Margarida Baptista, Flavio Rabelo, Silvia Possas, Gilberto Lima e Samuel Pessoa fazem enorme falta. Com eles certamente apreendi muito do pouco que sei de economia. Minha sorte é que continuam a ensinar-me. David Dequech,

Hoffman, e Ademar renovam a minha teimosa fé na diversidade, no rigor e na crítica ao argumento fácil.

João Pondé só ganhava no tenis, agora só veleja em S. Sebastião do Rio Flechado. Claudio Dedecca passa idéias e até recados a cada jogo ganho ou perdido. Boa conversa séria não tem hora nem lugar, como bem o sabe meu grande amigo Bob e seus cabras de Palmerina.

Tania, Elvira, Tanabe, Orlando, Alberto, Cida, Ademir e equipe, Jair, Regina *blue eyes*, Francis, Celinha, Paulina, Tiana e Carolina: quanta paciência!!! Carol teve especial cuidado com algumas correções do trabalho. Daniel, Zé e Conceição, mestres na arte de bem atender e nos livrar dos prazos incômodos: tem muito mais para vocês no futuro, garanto

Marcelo Magalhães é um professor sempre insatisfeito com minhas deficiências no uso do programa de digitação de vocês sabem quem. Eugênia Leone, Paulo Januzzi, Fernanda Niño e Ana Pereyra comigo dividiram uma excelente experiência de ensino em rede, interdisciplinar e útil: ensinar na “RedPresta”. Rinaldo Artes e Crivisky são a prova que estatístico é gente culta e divertida.

Rinaldo, Tuca, Ludwig, Henrique Neder, Marcelo Magalhães, Julieta, Celeste, Carol, Dani, Marcelo Melo, Dani Vaz, Hildo, Bastiaan, José Eli, Joachim, Ademar e Claudia Romano tornam a discussão sobre questão agrária, pobreza e desigualdade agradável. Maurício Coutinho sabe tanto de agricultura que podia entrar para o time.

Graça, Ester, Barral, Thais, Ana Futino, Alicia, Bia, Juliana, Dahlia, Ana Assad e Maurício Amazonas: *Biotec*, eu acredito!

Agradeço a Alain de Janvry, Peter Howitt, Elizabeth Sadoulet e David Audrescht por atenderem prontamente ^{LAQ} minhas solicitações. No IFPRI comprovei minhas teorias sobre o valor do debate acadêmico, mesmo em uma instituição que não se pretende acadêmica, mas formuladora de políticas. A REDCAPA e a FAEP/Unicamp evitaram que meus erros tivessem conseqüências tão profundas.

A meu pai, que me ensinou o interesse desinteressado;

À memória de minha mãe, que acreditou, mas infelizmente não esperou; Dityan e Batyan também não esperaram. Os três foram avós dignos, tolerantes, sábios e honrados no sentido mais completo: todos os netos perceberam isso e agradeceram.

Uma grande convivência não pode ser atribuída somente a eles; eu também ajudo, viu!! Henrique, Mônica e Carlos são muito mais que alguém que merece pode merecer. Nisso sou egoísta!!.

Naoko é do tamanho do mundo. Mais não digo, só a nós interessa.

A maravilhosa música instrumental do Brasil acompanhou-me dia e noite. Tá aí a perfeita definição de bem-estar.

O Instituto de Economia e a Unicamp são muito mais que locais de ensino e pesquisa. João Cabral de Mello Neto nos lembra que uma mesa, com 4 pés é firme, só roda como mesa desgastada.

Our Bias

The hour-glass whispers to the lion's roar,
The clock-towers tell the gardens day and night
How many errors Times has patience for,
How wrong are they in being always right?

Yet Time, however loud its chimes or deep,
However fast its falling torrent flows,
Has never put one lion off his leap
Nor shaken the assurance of a rose.

For they, it seems, care only for success:
While we choose words according to their sound
And judge a problem by its awkwardness;

And Time with us was always popular.
When have we not preferred some going round
To going straight to where we are?

Auden, 1939.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Apresentação.....	1
1.2	O desenvolvimento do trabalho.....	6
2	Teorias de Crescimento como fundamento da Teoria da Inovação Induzida	
	Equation Section 2.....	9
2.1	Modelos macroeconômicos e a Teoria da Inovação Induzida.....	9
2.1.1	O modelo Harrod-Domar.....	9
2.1.2	O modelo Solow-Swan e seus desdobramentos.....	13
2.1.3	Um modelo atualizado de crescimento.....	16
2.2	Modelo de Crescimento Sustentado e Progresso Técnico.....	22
2.2.1	Um esquema geral: modelos de crescimento sustentado e medidas de progresso técnico.....	22
2.2.2	Modelos de Crescimento Sustentado.....	26
2.3	Uma avaliação preliminar dos modelos.....	32
3	A Teoria da Inovação Induzida: medidas do viés tecnológico e o mecanismo de Indução Equation Section (Next).....	35
3.1	Conceituação e mensuração de viés.....	35
3.1.1	Os fundamentos para a conceituação de viés.....	35
3.1.2	A medida do viés com progresso técnico exógeno.....	38
3.1.3	Um resumo das medidas apresentadas.....	48
3.2	Progresso técnico incorporado e viés tecnológico.....	50
3.3	Fronteira de Possibilidades de Inovação (FPI) e viés.....	52
3.3.1	O mecanismo da indução tecnológica e o viés relativo.....	52
3.3.2	Fronteira de Possibilidades de Inovação e crescimento balanceado.....	58
3.3.3	A Fronteira de Possibilidades Históricas de Inovação (IPC) como resposta às críticas a FPI.....	65
4	A formulação microeconômica da TII: reformulando o mecanismo de indução tecnológica Equation Section (Next).....	71
4.1	Questões gerais.....	71
4.1.1	A Teoria da Inovação Induzida e a microeconomia.....	71

4.1.2	Um modelo probabilístico de inovação tecnológica, seu impacto e a importância da estruturação da pesquisa.....	73
4.2	O modelo microeconômico da TII	78
5	Modelos de crescimento com inovação endógena: modelos horizontais	103
5.1	Elementos básicos do modelo horizontalizado	105
5.2	Uma versão simplificada do modelo de crescimento horizontalizado	113
6	Modelos “schumpeterianos” de crescimento endógeno: elementos básicos e efeitos do processo inovativo	123
6.1	Elementos básicos dos modelos "schumpeterianos": a inovação tecnológica e seus efeitos no processo de crescimento.....	127
6.2	O impacto multissetorial da inovação: evolução da fronteira de inovação e o efeito Crowding Out.....	150
7	Um modelo de crescimento endógeno com inovação e acumulação de capital	171
7.1	Um modelo geral de crescimento endógeno	172
7.2	Complementaridade entre capital e esforço de P&D	184
8	Conclusões	195
8.1	A Teoria da Inovação Induzida no contexto macroeconômico	195
8.2	A Formulação Microeconômica da TII e os Modelos de Crescimento Endógeno.....	204
8.2.1	A contribuição da formulação microeconômica da TII.....	204
8.2.2	De volta aos modelos macroeconômicos: os modelos horizontalizados e “schumpeterianos” de crescimento.....	209
	Bibliografia	219
	Anexo	229

Lista de Figuras

Figura 1. Modalidades de Progresso Técnico	24
Figura 2. Viés e Progresso Técnico	46
Figura 3. Fronteira de Possibilidades de Inovação e Viés Relativo	58
Figura 4. Descrição da Fronteira das Possibilidades Históricas de Inovação- IPC.....	68
Figura 5. Relação entre Modalidades de Inovação e FPI.....	79
Figura 6 Esquema do Modelo Microeconômico da Inovação Induzida.....	80
Figura 7. Equilíbrios múltiplos na presença de externalidades afetando a taxa de chegada de inovações.....	132
Figura 8. Valores de $H(a)$ segundo os valores de a (eixo x) e de γ (eixo y) (A) e	152
Figura 9. Probabilidade de Inovar em uma Economia no Estado Estacionário, com diferentes “taxas de chegada da inovação”, segundo o “grau de monopólio”.....	157
Figura 10. Efeito do “nível de apropriabilidade”(eixo x) e do tamanho da inovação (eixo y) sobre o logaritmo da razão de qualidade entre dois períodos (z).....	158
Figura 11. Taxa de crescimento de economia (g) em função do grau de apropriabilidade e tamanho da inovação.....	159
Figura 12. Nível de emprego em pesquisa (n) em função da taxa de salários (ω) e tamanho da inovação (γ), para três níveis de grau de monopólio (0.25; 0.5 e; 0.75).....	165

Lista de Tabelas

Tabela 1 Efeitos do Processo Inovativo segundo a elasticidade de substituição (σ) e o diferencial entre as taxas de crescimento dos índices de eficiência do trabalho e capital (β).....	60
---	----

1 Introdução

1.1 Apresentação

Os enfoques neoclássicos, que são identificados como a principal corrente do moderno pensamento econômico, estando ligados a uma noção de eficiência alocativa, sempre tiveram dificuldades em tratar do processo inovativo na economia, a despeito do reconhecimento de sua importância (Solow, 1995). A maior delas está no que Possas (1995) definiu como a dificuldade de conciliar o efeito transformador do processo inovativo com formulações que de forma rigorosa incorporassem a percepção dos agentes de suas possibilidades maximizadoras e, por consequência, compatíveis com um estado geral de eficiência e bem-estar (não necessariamente de equidade, como explicam Bardhan & Udry, 1999).

Um dos exemplos mais notáveis das dificuldades encontradas pelos enfoques baseados na tradição neoclássica em analisar os processos inovativos é dado pela Teoria da Inovação Induzida (TII), inclusive na sua versão mais conhecida, de Hayami e Ruttan (1985), que se refere a um modelo de dois setores em que a agricultura aparece como elemento central da análise. A larga difusão deste trabalho, sua vinculação às teorias anteriores que procuravam localizar na agricultura a base para o desenvolvimento econômico e a existência de um instrumental analítico compatível tornaram a TII um marco importante no debate envolvendo a agricultura mundial. A coletânea elaborada por Köppel (1995) e o trabalho de reafirmação de sua importância por Stern (1996), contrapondo a TII às novas teorias do crescimento endógeno a partir do ponto de vista da agricultura, além da expectativa pela defesa de sua atualidade por Hayami & Ruttan (1995), à luz de fenômenos "novos" como *path dependence*, são indicadores robustos de sua importância.

Além disto, vale apontar o destaque dado à TII por Binswanger e Deininger (1997) - o primeiro, teórico da TII e ao mesmo tempo responsável pela formulação de políticas para agricultura no Banco Mundial - que fica transparente na seguinte afirmação: "utilizar políticas corretamente é mais importante para a agricultura que o uso da moderna tecnologia, porque o crescimento da produtividade total dos fatores pode ocorrer de diferentes formas... respondendo

pela escassez dos fatores, a tecnologia induzida é direcionada para produtores e/ou fatores que são mais eficientes para uma economia particular”.¹

A importância da TII como uma “tentativa de teorizar as fontes de crescimento endógeno” pode ser apreciada no trabalho de Sadoulet e de Janvry (1995:252-53), autores também com larga experiência em questões de desenvolvimento econômico. O “papel diferenciador” da TII é evidenciado no trecho seguinte: “as implicações para a formulação de políticas dos estudos sobre as fontes de crescimento, iniciados por Solow nos anos 50, são as de enfatizar o papel que tem a pesquisa, o desenvolvimento da capacitação humana e a informação de forma complementar ao efeito da intensificação do uso de fatores. A observação dos ganhos de produtividade... de forma tão simplista é todavia insuficiente. Porque novas tecnologias estão associadas a novos investimentos e a certos fatores de produção, necessita-se um novo olhar para além do progresso técnico desincorporado e que abranja o conceito de viés tecnológico”.

Finalmente, é importante citar Evenson (1988:490-91), outro formulador original de metodologias de análise e de instrumentos de análise de políticas agrícolas. A citação a seguir deve ser lida levando em conta o “estado da arte” da teoria econômica no momento em que Evenson a escreveu - no que difere das citações tomadas aos autores acima, que são atuais do ponto de vista da referência teórica.

Ele classifica os modelos de crescimento em dois grupos: “os modelos voltados para os efeitos da tecnologia incorporada e do aumento da produtividade associado ao coeficiente técnico de cada fator (*factor augmenting*) e aqueles que quando de seu surgimento mostraram-se promissores, uma vez que não somente a taxa de mudança tecnológica, mas também a intensidade dos fatores e a presença de viés era determinada endogenamente”. Em seguida, o autor associa o declínio da TII a seu fracasso na explicação dos fatores determinantes da Fronteira Histórica de Possibilidades de Inovação (FPI), ponto que está diretamente associado às dificuldades da teoria neoclássica em conciliar eficiência alocativa e dinâmica concorrencial (Chiaromonte e Dosi, 1993; Possas, Salles-Filho e Silveira., 1996).

Nas décadas de setenta e oitenta a grande difusão da TII em estudos de economia agrícola fez da TII a referência básica, para o “bem ou para o mal”. Repetiu-se então exaustivamente a

¹ Entretanto, o autor citado faz importantes ressalvas teóricas à TII e tenta explicar a razão de seu quase desaparecimento na literatura econômica.

proposição de Hicks (1936) criando um tipo de “bordão teórico” de que os preços relativos induzem a mudança tecnológica visando a economizar o “fator escasso”. Para os seguidores da TII esta frase ganhou uma dimensão simplificadora e ao mesmo tempo de amplo poder explicativo sobre o processo de inovação tecnológica.

No caso de refutação ou não comprovação do efeito indutor (resultado obtido, por exemplo, no trabalho de Santos, 1987), caberia encontrar as razões exógenas do desvio, geralmente a falha de percepção dos sinais de mercado pelos agentes ou de instituições. É interessante ressaltar que os “epígonos” dos formuladores da TII adotam o citado “bordão” sem as críticas e ressalvas adicionais que normalmente são encontradas nos trabalhos fundadores.

Do ponto de vista de boa parte da literatura crítica, cabia denunciar seu caráter reducionista, economicista, a ausência do tratamento das classes sociais e do jogo de interesses que estariam guiando um processo de inovação tecnológica obviamente não-neutro. Este jogo a partir de “frases feitas” deixava em segundo plano a análise que consideramos adequada tanto do ponto de vista teórico quanto do ponto de vista da conveniência da aplicação da TII. Os trabalhos de Beckford (1972) e de Grabowski (1988) ilustram bem as características básicas dessa linha de argumentação.

Finalmente, há a filiação teórica da Teoria da Inovação Induzida às teorias de desenvolvimento agrícola.² O campo neoclássico tem na versão da TII formulada por Hayami e Ruttan (1985) um representante claro da visão que “parte da agricultura” para analisar as questões do processo de inovação e crescimento, estabelecendo neste corte setorial a referência básica na construção de seu referencial teórico, o que a faz peculiar dentro do corpo de teorias de inspiração neoclássica.³

² Modelos precursores, como o da incorporação de insumos modernos, formulado por Schultz (ver Salles-Filho, 1993), também partem da agricultura como motor do desenvolvimento. O “mecanismo de auto-controle” formulado por Paiva (1976), conquanto procure mostrar as limitações da agricultura como promotora de crescimento, coloca o debate no contexto de setor agrícola e não-agrícola, supondo, pois, a idéia de especificidades da agricultura.

³ Como trabalhos clássicos da TII anteriores à formulação agrícola cabe citar Samuelson (1965), Kennedy (1964 e 1973), Dandrakis e Phelps (1966), Fellner (1971), Sah & Desay (1981) seguem esta linha de forma bastante curiosa, pois utilizam a TII num enfoque tipicamente “*left wing*” a um estudo de relações salariais, contrariando o “tom modernizante” das versões aplicadas da TII. Todas as versões citadas, somadas a de Atkinson e Stiglitz (1969) podem ser filiadas ao modelo Solow de crescimento - o porquê veremos adiante - e não tiveram, à época, a pretensão expressa pelos autores da TII aplicada a agricultura, de estarem criando uma teoria de crescimento endógeno, como demonstra o próprio Binswanger (1978).

Apesar de a TII ser quase que imediatamente identificada com esse tipo de questão, cabe destacar que tal teoria foi uma das primeiras tentativas de tornar endógeno o progresso técnico no campo das formulações neoclássicas. Poderia, pois, não estar necessariamente vinculada à discussão agrícola, exceto pelo fato de que em muitos países atrasados a idéia de desenvolvimento econômico passasse - como efetivamente passa até hoje, para muitos autores - pelo campo do “desenvolvimento agrícola e exportador”.

O presente trabalho busca tratar a TII, tal como formulada por Hayami & Ruttan (1985) e modelizada em seus microfundamentos por Binswanger (1974a, 1978), a partir de sua relação com as teorias de crescimento de caráter neoclássico vigentes à época em que a versão original foi lançada, para então “mapear” suas fragilidades e suas limitações para a análise do processo inovativo

A análise da proposição acima requer uma volta a alguns aspectos da teoria de crescimento, tal como foi desenvolvida nos anos 50 e 60. Este recurso à história do pensamento econômico é necessário não porque estas teorias não sejam bem difundidas, mas em razão do relativo esquecimento da ligação entre as teorias de crescimento e os pontos centrais da TII. Além disto, como aponta Stern (1996), a TII precocemente deslocou o eixo de preocupações com a idéia de crescimento balanceado (formulação tipicamente *Harrodiana*, que Matana (1997:577) chamou de “*capital fundamentalism*”) para aquelas relacionadas aos determinantes endógenos do crescimento.⁴

O posicionamento preciso da TII no contexto dos modelos de crescimento é importante. As teorias de inspiração neoclássica mantêm-se em uma tensão permanente entre a percepção da importância de certos fenômenos reais e as possibilidades de modelização de acordo com o “estado da arte” de cada época. A proposta da TII pareceu ultrapassar as possibilidades de modelização da época em que foi formulada, que eram ancoradas na determinação exógena de trajetórias e dos parâmetros a elas correspondentes.

⁴ Stern (1996:22-34) apresenta alguns modelos precursores da discussão de crescimento e agricultura com ênfase no modelo formulado por Lewis. Interessante notar que se trata de um modelo de dois setores, que podemos resumir na idéia do “papel da agricultura no desenvolvimento econômico”. Há trabalhos posteriores enfocando a dinâmica de dois setores, mas que são de inspiração “kaldoriana”, fora do escopo deste trabalho, sendo mencionados apenas para estabelecer um contraponto às formulações de inspiração neoclássica.

Sem este posicionamento junto às teorias de crescimento, a TII ficaria restrita ao âmbito da extrema especialização da interface modelo matemático (função de produção, função custo, função lucro) e a econometria (estimativa de elasticidades de substituição e de oferta), aplicada geralmente a algum tema agro-industrial (como em Peeters e Surry, 1997).

Fazer este percurso não significa encontrar uma saída teórica para recuperar a influência que outrora teve a TII, mas que procuraremos mostrar como a TII é determinada pelo tratamento neoclássico da questão do crescimento, sofrendo, em seus pontos básicos, das mesmas limitações teóricas, a despeito de seus objetivos ambiciosos.

Como aponta Almeida (1996:49-50), a discussão dos modelos de crescimento presta-se, na atualidade, a dois tipos básicos de análise:

a) um tipo que se funda na hipótese de convergência de renda *per capita*, com base na mobilidade do capital entre regiões (tratada como um processo não condicionado) ou entre países, geralmente tratada como convergência condicionada (Sala-I-Martin, 1996);

b) outro tipo, que é o que nos interessa aqui, refere-se à constatação de vários autores de que a explicação do crescimento econômico associada às diferentes formas de intensificação do uso do capital, ter-se-ia que agregar a discussão das origens e efeitos da inovação tecnológica, mais além do desenvolvimento de metodologias para sua mensuração.

Assim, vamos privilegiar o enfoque que busca modelar as causas do crescimento sustentado, tendo como ponto de partida a autocrítica de Solow (1992) de que progresso técnico com efeito de longo prazo mereceria um tratamento melhor do que o dado pela suposição de exogeneidade.

O objetivo central deste trabalho é evidenciar de que forma um enfoque que é quase sempre tratado como um item da economia agrícola tem origem na discussão sobre crescimento econômico, com desdobramentos sobre as teorias da inovação tecnológica e em outros campos da economia aplicada. Além disto, tem como objetivo tratar os elementos de relevo da TII que contribuíram para o avanço do tratamento do tema inovação tecnológica e sugerir uma alternativa teórica capaz de não só levar em conta o tratamento teórico da inovação tecnológica na firma, mas seus impactos mais amplos no processo de crescimento econômico.

Tem-se como questões orientadoras do presente trabalho, os seguintes pontos:

a) Teoria da Inovação Induzida foi um esforço importante na expansão do campo de tratamento da economia neoclássica sobre a inovação tecnológica;

b) Ela deve ser entendida como um desdobramento das teorias de crescimento desenvolvidas a época em que foi formulada, tendo alguns importantes pontos de contato com as Teorias do Crescimento das décadas de oitenta e noventa;

c) A concepção da TII como uma teoria de desenvolvimento agrícola a afasta da perspectiva apontada acima e explica seu esgotamento ao longo dos anos oitenta e noventa.⁵ Esta última questão será focalizada apenas no capítulo final do trabalho, na forma de observações pontuais, sem o correspondente rigor dado ao tratamento das três primeiras hipóteses.

1.2 O desenvolvimento do trabalho

O trabalho será desenvolvido segundo a perspectiva do processo inovativo e do crescimento econômico, em elevado grau de abstração. Não sequestrona, portanto, a discussão proposta pelos formuladores da Teoria da Inovação Induzida sobre inovação tecnológica e desenvolvimento econômica. (ver Hayami, 1998). A Teoria da Inovação Induzida é vista como um sendo uma teoria que busca endogeneizar o crescimento por meio do mecanismo de indução da inovação e, por isso mesmo, antes dela são apresentados os modelos em que o progresso técnico é exógeno ou em que o mecanismo de crescimento não está especificamente relacionado ao processo de inovação.

Detalhando um pouco mais, os capítulos 2 e 3 apresentam os elementos conceituais básicos para o entendimento do debate em torno da TII. Envolvem os tratamentos macroeconômicos e algumas questões relacionadas à mensuração de viés e a apresentação do mecanismo de indução tecnológica em nível macroeconômico.

No capítulo 2 são tratados os modelos de crescimento econômico em que o processo inovativo ou é visto como exógeno ou contido no processo de acumulação de capital. Seus itens iniciais, até 2.1.2, apresentam as versões de crescimento balanceado sem incluir o efeito do progresso técnico, bem como as versões que se baseiam no modelo Ramsey-Koopmans-Cass e que utilizam ferramentas matemáticas novas em relação às formulações da TII. O objetivo é

também apontar como a forma dinâmica de trabalhar o problema não altera fundamentalmente as conclusões obtidas nos modelos mais simples, não sendo, pois, a razão para substituírem teoricamente a TII no corpo da teoria moderna de crescimento e inovação.

O item 2.2 apresenta os modelos de crescimento sustentado, baseados na hipótese de que o entendimento da atividade inovativa e dos efeitos do progresso técnico são elementos fundamentais para estabelecer as condições para sustentação do crescimento e para analisar a proposta de reunir inovação e eficiência em um mesmo modelo, que é a pretensão básica da TII. Para isto é apresentado um quadro resumo dos diferentes tratamentos dados ao progresso técnico, partindo de suas características mais gerais (exo/endogeneidade) até àquelas mais específicas, relacionadas à forma de tratar o processo inovativo. Nesse mesmo item, apresenta-se um modelo de crescimento sustentado baseado na idéia de rendimentos constantes do capital, justificados a partir da presença de retornos crescentes em certas atividades que compõe o capital. A relação linear entre produto e capital permite aceitar a idéia de persistência de impactos (por exemplo, de algum processo inovativo) sem a necessidade de especificar como seria a remuneração do fator que apresenta rendimentos crescentes

Seguir com a apresentação dos chamados modelos "schumpeterianos" seria lógico caso o objetivo do trabalho fosse apresentar as teorias de inovação. A interrupção do que seria uma seqüência lógica para dar lugar à conceituação de viés tem uma explicação: é preciso introduzir o conceito básico da TII e o fazemos em um ponto em que já é possível intuir sua relação com a idéia de crescimento balanceado, antes mesmo de tentar endogeneizar o processo inovativo pela via do mecanismo de indução.

O capítulo 3 ocupa-se primordialmente da versão macroeconômica da Teoria da Inovação Induzida, passando pelo conceito de Fronteira de Possibilidades de Inovação até a relação entre viés e crescimento, sintetizada a partir do conceito de possibilidades históricas de inovação -IPC, um dos pontos que consideramos "frágeis" da formulação "macroeconômica" da TII.

Em seguida, no capítulo 4, especificamente no item 4.2 desenvolve-se o modelo microeconômico de inovação induzida, combinando os trabalhos de Binswanger (1974b,1978),

⁵ Além disso, a concepção dos requerimentos para o desenvolvimento, e especificamente para o desenvolvimento agrícola, se aproxima cada vez mais das teorias de organização e do custos de transação. (Ver Farina, Azevedo e Saes (1997) para um exemplo da importância dessas teorias na análise de questões cruciais para a agricultura).

Evenson (1998) e David (1975) com algumas considerações sobre o modelo de de Janvry (1985). Tal apresentação deixará evidentes as limitações para sustentar o ligação entre o mecanismo proposto e o papel do processo inovativo no crescimento. Na visão da TII, tudo se passa como uma vez descoberto o princípio geral que guia a decisão de inovar, o processo fosse seguido pelos agentes, redundando em efeitos sobre o crescimento e portanto, sobre a possibilidade de constatar ou não viés induzido ou o efeito corretor sobre o viés do processo de inovação. Essa ponte micro-macro" é fruto de desenvolvimentos no campo da teoria de crescimento endógeno na segunda metade da década de oitenta e ao longo dos anos 90, ainda estando em progresso, principalmente no campo da verificação empírica das hipóteses, como bem mostram Aghion & Howitt (1998, cap 12), David & Hall (1999) e David *et alii* (1999).

Os capítulos 5, 6 e 7 apresentam os modelos recentes de crescimento endógeno. O capítulo 5 refere-se aos modelos horizontalizados. Mostra como é possível privilegiar a relação entre crescimento e

O capítulo 6 trata dos elementos básicos que compõe o modelo "schumpeteriano", apresenta os efeitos associados ao processo inovativo e algumas de suas conseqüências. No capítulo 7 um modelo geral relativo à decisão de inovações é construído, com ênfase na complementaridade entre inovação e acumulação de capital, que segundo nossa hipótese, põe em xeque o poder qualquer tentativa de estender o modelo da inovação induzida para além das formulações microeconômicas apresentadas em 4.2. Com isso procura-se mostrar que a TII é um mecanismo entre outros associados ao gasto da inovação e que mesmo processos de seleção de projetos de pesquisa *ex-ante* se utilizam de outros critérios, inclusive relacionados à organização da pesquisa, que a simples relação entre efeitos da inovação e efeitos poupadores de fatores "escassos".

2 Teorias de Crescimento como fundamento da Teoria da Inovação Induzida Equation Section 2

2.1 Modelos macroeconômicos e a Teoria da Inovação Induzida

Começamos este trabalho apresentando de forma muito resumida as teorias de crescimento que tratam o progresso técnico como resíduo ou como não tendo importância de destaque no crescimento econômico. São enfoques bastante conhecidos, mas que servem de base para o desenvolvimento dos modelos que incluem as atividades inovativas e principalmente para que, no capítulo 3, se avaliem os requerimentos para a “mensuração do viés tecnológico”, que é base da TII. Enfatizamos desde logo que não é possível medir viés em um determinado nível de agregação sem pressupor algum tipo de trajetória de crescimento. A opção metodológica do presente trabalho é percorrer o caminho teórico necessário para o entendimento da Teoria da Inovação Induzida e, a partir do capítulo 5, apresentar as formulações de crescimento que ela dialogam.

Consideramos problemáticas as críticas que apenas se opõem aos fundamentos da teoria neoclássica julgando que isto seja necessário e suficiente para estendê-las a todo e qualquer tema. Além disto, como dissemos na apresentação, um dos objetivos deste trabalho é alertar para o uso pouco cuidadoso de um conceito e a partir dele derivar sugestões de política.

2.1.1 O modelo Harrod-Domar

Iniciamos pelas teorias de crescimento que permitem estabelecer as condições para uma trajetória de “**crescimento balanceado**” (Gomulka, 1990). A definição do que seja crescimento balanceado demanda uma apresentação prévia de alguns modelos mais difundidos, feita ao final deste item.⁶ A idéia geral estaria em provar que uma economia pode crescer mantendo constantes certos parâmetros fundamentais de seu funcionamento. Intuitivamente, isso requereria a superação de gargalos impostos pela presença de ativos não-reprodutíveis pelo capital (exógenos ao modelo) e da possibilidade de que existam trajetórias de desequilíbrio sancionadas pelo próprio crescimento.

⁶ Sugere-se a leitura de algumas apresentações bastante claras do modelo e de suas derivações em Barro e Sala-I-Martin (1995). Ostaszewsky (1993) faz uma clara exposição sobre o paradoxo resultante do modelo formulado por Domar para em seguida compará-lo à solução neoclássica elaborada por Solow.

Começemos pelo modelo mais simples, que utiliza uma função de produção agregada e que é a síntese dos modelos formulados por Harrod (1948) e Domar (1946). O modelo Harrod-Domar (H-D) tem como idéia básica que o *input* trabalho cresce automaticamente em proporção ao capital, o que significa especificar uma função de produção com tecnologia de coeficientes fixos. Com isto gera-se a possibilidade da existência de excedentes de capital ou de trabalho na economia.

Sendo A o coeficiente técnico associado ao capital e B ao trabalho, quando $AK < BL$, o capital será o fator limitante. A firma então vai produzir $Y = AK$ e contratar a parte do trabalho correspondente, ou seja, $(1/\beta)AK < L$ (Aghion & Howitt, 1998:25). A equação de movimento é definida como $I = sAK - \delta K$, em que I é o investimento, s a taxa de poupança e δ a taxa de depreciação do capital.

Com isto a taxa de crescimento do capital seria⁷:

$$g_K = sA - \delta \quad (2.1)$$

Tem-se, então, que devido à proporcionalidade estrita do produto em relação ao capital, g_K será igual a g_Y . Obtém-se facilmente o crescimento *per capita* descontando-se a taxa n de crescimento populacional. A interpretação básica do modelo Harrod-Domar, a partir de (2.1) é a existência de apenas uma trajetória de crescimento equilibrado, com a manutenção da relação capital/produto (v), resultado da compatibilização entre investimento e poupança. Já aparece neste modelo o problema do ajustamento do capital: investimento cria demanda e ao mesmo tempo capacidade ociosa.

Ao invés de gerar um ciclo econômico, como nos modelos departamentais, esta tensão gera apenas uma trajetória possível, dados os parâmetros (propensão a poupar e o parâmetro tecnológico que relaciona o estoque de capital à capacidade de investir). Aghion e Howitt enfatizam a questão dos coeficientes fixos e a importância do aparecimento da limitação causada por um determinado fator, impedindo a continuidade do crescimento.

A instabilidade verificada nos resultados deste tipo de modelo, ainda que represente em linhas gerais o que ocorre em muitas situações no capitalismo moderno, é basicamente originária

de uma formulação que deixa para a economia duas possibilidades: de crescimento equilibrado ou de afastamento progressivo da trajetória de equilíbrio; uma situação caracterizada pelo chamado “fio da navalha” (imagem que continua a ser evocada sempre que uma economia tenha estreitado em demasia o “raio de manobra” de sua política macroeconômica).

Por outro lado, de uma perspectiva atual, tais formulações mantiveram um certo apelo heterodoxo, principalmente quando especificados na forma em que os coeficientes aparecem em proporções fixas. Neste caso, como mostram Barro e Sala-I-Martin (1995:47-48), deixam a possibilidade de que a economia capitalista percorra em sua trajetória “resultados indesejáveis” (sic) na forma da possibilidade de um incremento perpétuo de trabalhadores ou máquinas desempregadas.⁸

Cabe aqui um esclarecimento. O modelo Harrod-Domar explica uma trajetória *Harrod-neutral*, que é caracterizada pela constância da relação v . Entretanto, como mostram Biswanger (1978), Gomulka (1990) e Metcalfe (1997) por diferentes caminhos, há trajetórias *Harrod-neutras* das quais emergem diferentes modelos de crescimento. Uma trajetória *Harrod-neutral* é inclusive compatível com a existência de um processo inovativo, o que vai além do formulado pelo modelo *Harrod-Domar*.

As situações imaginadas pelo modelo *H-D* não consideram a mudança tecnológica. Então, a TII não estaria relacionada a este tipo de modelo, que ademais, estaria formulado em termos agregados? O que este modelo aportaria para a discussão da TII? A nosso ver, aponta justamente para a TII a partir da idéia de crescimento balanceado. Caso exista uma trajetória em que a relação K/Y (cujo símbolo é v) permaneça constante -assim como a taxa de poupança (s) e a taxa de emprego- sua relação com a TII seria de “dupla mão”: a garantia da trajetória ocorreria na presença de viés por um efeito corretivo do processo de inovação tecnológica e seria o conhecimento da trajetória a garantia da percepção da existência do viés.

⁷ O termo g_y também pode ser interpretado como a derivada do logaritmo do capital no tempo, que corresponde à taxa de crescimento do capital.

⁸ Barro & Sala-I-Martin (1995:47-48 e 142-145) mostram que o modelo *Harrod-Domar* com coeficientes em proporções fixas, do tipo $y = \min(Ak, B)$, formulado em termos *per capita*, satisfaz as chamadas “*Inada conditions*” (Inada, 1963), uma vez que o produto marginal do capital tende a zero quando k vai a infinito ($\lim_{k \rightarrow \infty} f'(k) = 0$), mas a função de produção não resulta em crescimento endógeno no *steady state*. Vale observar que são duas as condições formuladas por Inada. A outra seria $\lim_{k \rightarrow \infty} f(k) = 0$. Estas condições são um componente importante dos pressupostos de uma função de produção neoclássica: implicam que cada *input* é fundamental para a produção e de que o *output* vai para infinito quando o uso de insumos for infinito. (Barro e Sala-I-Martin, 1995:17).

Todavia, as condições fortemente restritivas para ocorrência do equilíbrio dinâmico tornariam a relação entre o crescimento a partir do modelo *H-D* e a ocorrência de um viés tecnológico extremamente artificial. Apesar de definir parâmetros de forma exógena, o modelo *H-D* está apoiado em uma teoria sobre a possibilidade de ocorrência de desajustes entre as possibilidades de investimento e de sua realização. Mostra-se claramente inadequado para servir de base para a TII.

Em resumo, a breve menção ao modelo *H-D* serve para introduzirmos a proposição de que a mensuração do viés tecnológico depende da caracterização de algum tipo de trajetória de crescimento: os vieses poderiam ou não ser percebidos ou mensurados microeconomicamente, sem confundir-se com uma simples alocação eficiente de fatores, mediada pela elasticidade de substituição, parâmetro da função de produção percebida pelo agente? Este é um dos pontos centrais da crítica que propomos ao enfoque dado pela maioria das versões de TII.

Nossa investigação sugere que a TII necessita estar apoiada em alguma teoria mais ampla de crescimento, sob pena de ser tomada como uma teoria da alocação eficiente dos recursos de pesquisa com um pequeno alcance explicativo, o que seria incompatível com sua proposição de fornecer uma explicação ampla do processo de transformação de uma economia ou de um setor (a agricultura).⁹

Antes de prosseguirmos com a questão do crescimento balanceado e a caracterização e mensuração do viés introduziremos uma observação metodológica: a formulação da TII em nível macro não deve ser tomada, *a priori*, como um problema ou mesmo um erro teórico, como alguns autores sugerem ou aceitam implicitamente (por exemplo, o próprio Ruttan & Hayami, 1985). Há modelos macroeconômicos de crescimento que incorporam uma percepção ampla do processo de inovação a partir da idéia de regimes de acumulação, por exemplo (Lordon, 1995) em que não existe a preocupação em explicitar “microfundamentos”. O presente trabalho mostra uma clara preferência pela tentativa de construir uma ponte macro-micro na explicação da relação entre inovação e crescimento.

⁹ Esta crítica não coincide integralmente com a formulada por Salter (1966), que é bem conhecida e citada na maioria dos trabalhos críticos. Este trabalho critica a forma com que a TII teoriza a percepção de cada agente sobre o processo inovativo. Ver também David (1975), principalmente no ponto em que ele se pergunta se o arcabouço neoclássico é realmente necessário para explicar a questão da inovação induzida. Voltaremos a este ponto no final do trabalho.

No caso da TII, como veremos, a formulação “macro” procura responder à observação de fatos estilizados da história¹⁰ e uma adequação do processo inovativo à existência de algum tipo de fronteira que se desloca segundo uma trajetória que no mínimo tem que ser explicitada e que seria melhor entendida se os fatores por ela responsáveis forem explicitados teoricamente. Isto sugere uma tentativa de um tratamento microeconômico que cumpra parte importante desta tarefa.

2.1.2 O modelo Solow-Swan e seus desdobramentos

Apresentaremos o modelo Solow-Swan e seus desdobramentos, que vão incorporando novas explicações para o papel da inovação no crescimento. O modelo do item 7.2 também se apoia em uma estrutura básica definida pelo modelo *S-S*, o que justifica sua apresentação mais detalhada em relação ao modelo *H-D*. Algumas observações importantes sobre o papel da proporção entre fatores e o modelo introduzem questões relacionadas à análise da Teoria da Inovação da Induzida.

O modelo básico formulado por *Solow (1956)* é a referência fundamental para as formulações que buscam superar as limitações do modelo *Harrod-Domar*. Continua sendo uma importante referência para algumas das formulações neoclássicas atuais. Tem sobre o modelo *Harrod-Domar* a vantagem de evitar a instabilidade citada acima e ser um tipo de modelo que também permite incorporar a noção de trajetória *Harrod-neutra*, mesmo na presença de inovação tecnológica, possibilidade que mencionamos no item anterior. Esse é o tema que desenvolveremos mais à frente, como parte da discussão da base macroeconômica da TII. Cabe neste item introduzir a equação fundamental do modelo *Solow-Swan (S-S)* e os elementos básicos de sua dinâmica.

A equação diferencial abaixo resume o modelo, cabendo adicionar alguns pressupostos necessários para que dele se obtenham os resultados esperados pela teoria:

¹⁰ Como aparece no debate entre Rothbarth -Babakuk e Temin -citado por Temin (1966) e David (1975)- acerca da hipótese dos primeiros autores sobre a relação entre escassez de mão- de-obra e mecanização na comparação entre os padrões de desenvolvimento tecnológico no século XIX entre os Estados Unidos e Grã-Bretanha.

$$g_k = sf(k) - (n + \delta)k \quad (2.2)$$

em que g_k significa a taxa de crescimento da relação capital trabalho, s a taxa de poupança, n e δ são respectivamente as taxas de crescimento populacional e de depreciação do capital.¹¹

O modelo assim apresentado é a versão que já incorpora o crescimento populacional. Com isto teríamos a taxa de crescimento em função da contribuição K/L ao produto, dada pela função de produção neoclássica expressa também em termos *per capita*, $f(k)$. A equação acima, sendo não-linear, depende apenas de k , a relação capital/trabalho¹²

A introdução da taxa n do lado direito da equação origina-se da transformação da taxa de variação do capital no tempo em taxa de crescimento da relação capital/trabalho no tempo. Isto algebricamente corresponde a introduzir do lado direito um termo $n.k$ que permita estabelecer uma equivalência entre (2.2) e a fórmula básica do investimento $\dot{K} = sF(K) - \delta K$. A diferença entre as duas está na introdução da taxa de crescimento populacional que se soma à taxa de depreciação e a expressão da função de produção em termos *per capita*.

Os pressupostos do modelo S-S referem-se fundamentalmente às características da função de produção: rendimentos constantes à escala¹³; a presença de produtos marginais dos fatores positivos e decrescentes - cuja importância discutiremos adiante - e as “condições Inada”, que mencionamos (Inada, 1963). A função dos pressupostos é permitir certas transformações algébricas úteis na obtenção da equação acima e principalmente certas propriedades dinâmicas do sistema: sendo o capital o único fator que se acumula, ao processo de crescimento corresponde um desincentivo ao investimento de longo prazo.

Como se pode perceber, a introdução do termo correspondente ao crescimento do fator trabalho e da depreciação introduz a diferença em relação ao modelo anterior. O modelo *Solow-Swan* (S-S) continua agregado (de apenas um setor), mas não é mais um modelo instável e com

¹¹ Atenção para o significado diferenciado dos símbolos expressos em letras maiúsculas –que representam diretamente as variáveis- daqueles em minúsculas, que indicam relações entre variáveis de interesse. No caso k e v indicam respectivamente as relações: capital/trabalho e capital produto.

¹² Barro & Sala-I-Martin (1995) denominam $y=f(k)$ de função de produção na forma intensiva. Aghion & Howitt (1998:13-15) mostram graficamente a dinâmica correspondente à equação de movimento explicitada acima e que a relação direta entre n e a taxa de crescimento da mão-de-obra não é trivial, correspondendo a desconsiderar a influência da flutuação do nível de emprego sobre o crescimento da economia.

uma interpretação inadequada do ponto de vista de uma desejável estabilidade assintótica. Sua dinâmica é pois compatível tanto com a idéia de crescimento balanceado quanto com a definição e mensuração do viés tecnológico.

A idéia de crescimento balanceado no modelo *H-D* é representada pelo “fio da navalha” e pela constância da relação capital produto. De maneira distinta, a dinâmica do modelo *S-S* também permite definir as condições para o crescimento balanceado através do estabelecimento de “regras de ouro” da acumulação de capital.

As condições para que atinja o nível de “estado estacionário” são a da igualdade entre $s \cdot f(k)$ e $n + \delta$, que resulta do simples fato de que a acumulação de capital gera rendimentos decrescentes. Quanto maior a soma da taxa de crescimento populacional com a taxa de depreciação de capital, menor o valor de k^* , a relação capital/produto de equilíbrio. Uma mudança na função de produção (fator A , nas formulações mais utilizadas) ou da propensão a poupar (s) eleva k^* . Seguem-se os resultados esperados, como da constância de k^* no “ estado estacionário” e por conseqüência do consumo e da renda *per capita*

Há um ponto crucial para nossa escolha temática: nesse modelo a taxa de crescimento no “estado estacionário” é zero. O que faria então o capital crescer no longo prazo? Não haveria explicação. O longo prazo seria totalmente determinado por elementos exógenos. (Aghion e Howitt, 1998:15,16). O que o modelo permite especificar claramente é, considerando n e δ constantes e conhecidos, a relação entre s e k que leva ao estado estacionário. Com isto pode-se facilmente obter o consumo *per capita* que corresponde ao estado estacionário.¹⁴

O modelo *H-D* apresentava um paradoxo em que uma taxa mais elevada que a de crescimento equilibrado levaria à necessidade de redução do investimento e não a seu aumento, como seria óbvio. Isto ocorre nesse modelo em função da rigidez dos coeficientes. Já no modelo *S-S* é possível existir uma “ineficiência dinâmica”, em que a economia poderia sobre-acumular capital muito além do nível correspondente ao estado estacionário e com isto, ao comprometer o consumo intertemporal, levar a um retorno social negativo. Daí a importância (ou a necessidade)

¹³ O que torna o tamanho da economia irrelevante. Observa-se uma postura metodológica radicalmente distinta dos modelos que enfatizam os desequilíbrios causados pelo crescimento como fator importante de retro-alimentação do processo. Ver Silveira & Kageyama (1997) para uma comparação entre as duas visões.

¹⁴ Os detalhes técnicos associados a essas considerações estão claramente apresentados em Barro & Sala-I-Martin (1995:19).

da “regra de ouro”: ela estabelece que a acumulação ótima de capital no horizonte de tempo considerado pelo problema não pode ser tal que gere um potencial de consumo futuro às custas do consumo presente. O inverso também seria válido: o consumo presente não poderia comprometer o consumo das gerações futuras, ou seja, os consumidores deveriam respeitar os sinais de mercado que indicariam uma taxa de desconto intertemporal que lhes permitiria maximizar sua utilidade a cada instante de tempo, restrita ao potencial de consumo dado pelo processo de acumulação de capital. (Phelps, 1966).¹⁵

Note que até aqui o modelo *S-S* estabelece condições de dinâmica para diferentes níveis de poupança. Pode-se estabelecer então uma região de ineficiência dinâmica estabelecendo dois níveis de poupança correspondentes a três níveis distintos de capital no estado estacionário cujo intervalo inclua a poupança correspondente às exigências da “regra de ouro”. O que é possível observar pelo modelo *S-S* é que existe uma faixa de acumulação de capital acima do k_{ouro} em que é possível elevar o nível de consumo em todos os períodos pela simples redução da taxa de poupança, o que é sinal de ineficiência do estado estacionário obtido. O modelo acima deixa clara uma primeira questão: aumentar a relação capital/trabalho está sujeito a uma certa dinâmica que restringe as possibilidades de crescimento. Além disto, introduz o problema da acumulação de capital independentemente da questão da proporção entre os fatores no processo de crescimento. Finalmente, apresenta as condições para o estado estacionário e a elas adiciona as condições de crescimento eficiente. Trata-se pois de um modelo básico, excessivamente simplificado para introduzir tanto a questão do crescimento balanceado quanto a do efeito do processo inovativo. O próximo sub-item procura ampliá-lo no sentido de que, admitindo uma taxa de poupança variável ao longo de uma trajetória de crescimento, permita investigar melhor o que ocorreria com a introdução do progresso técnico, o que será feito no próximo capítulo.

2.1.3 Um modelo atualizado de crescimento

O modelo *S-S* pode ser sofisticado no sentido de admitir uma trajetória ótima para as variáveis de controle (consumo *per capita* ou a variável k) substituindo a “regra de ouro” pela

¹⁵ Pode-se mostrar que a condição que respeita a regra de ouro da acumulação é $f'(k_{ouro}) = n + \delta$ (Barro e Sala-I-Martin, 1995:20).

maximização da Utilidade Agregada Intertemporal.¹⁶ Uma das maneiras de modelar o problema é apresentada por Aghion & Howitt (1998:17-22), que sintetizam o modelo clássico Ramsey-Koopmans-Cass com bastante clareza. Alternativamente, apresentaremos uma versão resumida do modelo desenvolvido por Lucas (1988) que parte do tratamento da preferência como função do consumo individual.

Seja $c(t)$ o consumo real *per capita* (Almeida, 1996:24, indica que se trata do consumo de um único bem) e $N(t)$ o número de agentes na economia.

Chega-se à formulação:

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} \frac{1}{1-\mu} \left[c(t)^{1-\mu} - 1 \right] N(t) dt \quad (2.3)$$

que é um funcional com horizonte de planejamento infinito. Reflete a busca de otimização da trajetória ótima de consumo, considerada a taxa de preferência intertemporal $\mu > 0$ (a medida de aversão ao risco, como definido na literatura corrente, por exemplo, por Mas-Collel *et al*, 1995) e uma determinada função utilidade, descontada em tempo contínuo por ρ .

A multiplicação por $N(t)$ deve-se à forma de agregação do modelo: trata-se do número de agentes da economia. O funcional está definido em valor presente descontado à taxa ρ .

A solução do funcional é obtida através do *Hamiltoniano* apresentado a seguir:

$$H(K, \theta, c, t) = \frac{N}{1-\mu} [c^{1-\mu} - 1] + \theta [AK^{\beta} N^{1-\beta} - N.c] \quad (2.4)$$

sendo que primeira parte de $H(.)$ em (2.4) já foi apresentada em (2.3) A segunda é composta por uma função de produção cujas propriedades dependem da forma de especificação do modelo (a fórmula acima apresenta o caso mais simples, da função *Cobb-Douglas*, em que A corresponde a

¹⁶ Vale um comentário sobre esta mudança. O artigo de Ramsey de 1926, citado por Chiang (1992), tornou-se o trabalho de referência dos anos oitenta e as técnicas de controle ótimo tornaram-se obrigatórias nos trabalhos sobre crescimento e sobre o efeito das políticas públicas. Ver Kamien e Schwarz (1982) para tratamentos atualizados do tema. Almeida (1996) fez um resumo de fácil entendimento para aqueles que desejam adquirir uma noção geral, mas precisa, sobre estas técnicas e suas aplicações em economia. Palivos *et alii* (1997) apresentam as condições para a existência de crescimento balanceado e assintoticamente balanceado a partir de modelos de crescimento endógeno, quando a elasticidade intertemporal de consumo e a taxa de preferência intertemporal não são constantes ao longo da trajetória ótima. Trata-se de um exemplo de uma tentativa de aperfeiçoamento da literatura que costuma tomar estas taxas como constantes.

seu nível tecnológico) e da qual se desconta o consumo agregado, resultando no investimento a cada período.

Como se sabe, a função H expressa a restrição dinâmica à trajetória ótima de consumo, não por meio de um multiplicador de *Lagrange*, mas de uma função, que dá o valor de “ceder” uma unidade da restrição a cada momento, no caso, fornecendo o preço de uma unidade adicional do capital a cada instante de tempo. Estes são os elementos básicos da nova formulação do problema. Uma versão resumida da forma geral de sua solução é apresentada em Almeida (1996). A solução associada ao modelo clássico de Ramsey-Koopmans-Cass pode ser obtida em Chiang (1992).

Podem-se introduzir, pois, as principais implicações desta reformulação para a questão do crescimento balanceado e de sua relação com o progresso técnico. A primeira observação é que a taxa de poupança não é dada. O consumo *per capita* é uma variável de controle, enquanto que o comportamento do preço do capital é definido através de uma equação de co-estado. Parte-se das condições iniciais $K(0)$ conhecidas e em seguida se estabelece a condição de transversalidade. Esta pode ser descrita como “não se deve acumular capital que não resulte em melhoria do consumo”, o que é expresso pela fórmula $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \theta(t) k(t) = 0$, que mostra que o valor presente do estoque de capital deve tender a zero quando o tempo vai a infinito¹⁷. Com isto chega-se a uma trajetória única para ótima para $K(t)$, que resulta na maximização da utilidade do consumo.

A segunda observação refere-se à solução buscada para $H(\cdot)$: espera-se que as trajetórias das variáveis de controle não sejam necessariamente constantes, ou seja, que a solução única não esteja restrita à imposição de um estado estacionário. Entretanto, Lucas (1988) considera satisfatório para evidenciar as limitações do modelo pressupor uma solução particular correspondente ao crescimento equilibrado: a taxa de crescimento das variáveis é constante (os detalhes algébricos são apresentados em Almeida, 1966 e Chiang, 1992).

Não deixa de ser decepcionante voltar às suposições que permitiram chegar a resultados semelhantes com um instrumental mais simples. Podemos então definir o que seja crescimento

¹⁷ Isto é bastante próximo à condição imposta pela “regra de ouro” no modelo clássico. Ver Barro & Sala-I-Martin (1995:19-22). Como vimos, a “regra de ouro” propõe que o consumo atual não seja realizado às custas das gerações futuras e vice-versa.

balanceado e depois derivar algumas observações a partir desta trajetória característica. A definição apresentada a seguir está baseada em Lucas (1988) e em Palivos *et al.* (1997:210-12).

Seja o caminho $\{k(t), c(t), \theta(t)\}$, $t \geq 0$, a solução para o problema de maximização da utilidade ao longo de um certo período de tempo, restrita pelo nível de investimento que é variável a cada instante, como definido em (2.3) e (2.4). Chamamos este caminho de crescimento balanceado nos casos em que as taxas de crescimento de todas estas variáveis g_k , g_c e g_θ forem constantes no tempo. É um processo não degenerado se g_k e g_c forem estritamente positivos. Recordamos que θ é a variável associada à equação de co-estado da restrição definida em (2.4).¹⁸

A partir da condição de crescimento equilibrado, aplicada ao modelo em questão, chega-se a alguns resultados interessantes, que resumimos a seguir:

a) a produtividade marginal do capital deve ser constante ao longo de toda trajetória. Gomulka (1990:135), ao invocar a “regra de ouro de acumulação”, mostra que esse resultado não pressupõe uma trajetória tecnológica *Harrod-neutra*, que é tratada como um caso limite (essa solução será tomada como referência na análise da relação entre crescimento balanceado e indução, quando introduzirmos o progresso técnico);

b) da suposição de que g_k (a taxa de crescimento do capital no tempo) seja constante resulta que a taxa de crescimento do estoque de capital é igual à soma da taxa de crescimento do consumo e da taxa de crescimento populacional (o que também não difere dos resultados obtidos pelo modelo *S-S*);

Relacionando esses resultados com os parâmetros envolvidos, chega-se a três equações básicas (Almeida, 1996:29), apresentadas em (2.5).

Desta solução, três tipos de parâmetros devem então ser analisados. Os dois primeiros, μ e β , são relacionados à função de produção; β é um parâmetro de distribuição que, em condições de equilíbrio, dá a participação em valor do fator no produto, o que corresponde a sua elasticidade de oferta; lembremos que μ é um parâmetro de preferência intertemporal da função

¹⁸ Corresponderia a $\rho - \beta \cdot AN^{1-\beta} K^{\beta-1} = g_\theta = -\mu \cdot g_c = cte.$ adaptado de forma simplificada de Higachi (1998:53). Note que nestes modelos ρ é tomada como constante, o que é modificado nos modelos de preferência recursiva.

utilidade. O parâmetro λ reflete a taxa de mudança tecnológica, g_A , definida de forma desincorporada.¹⁹ Obtém-se então:

$$\begin{aligned}\hat{K} &= \frac{\lambda}{1-\beta} + \eta \\ \theta &= -\mu \frac{\lambda}{1-\beta} \\ \hat{c} &= \frac{\lambda}{1-\beta}\end{aligned}\tag{2.5}$$

Aqui cabe uma pergunta fundamental: qual o processo que comanda a trajetória do parâmetro λ ? Caso alterássemos a função de produção, poderíamos trabalhar o termo relativo ao processo inovativo sem discutir a eficiência alocativa dos agentes, apenas a eficiência técnica (Sadoulet & de Janvry (1995:241-4) apresentam de forma precisa a explicação da diferença entre elas). A presença do parâmetro λ traria a discussão da natureza ou da explicação do processo inovativo, incluindo-se a questão da origem dos vieses e das modalidades poupadoras de processos inovativos. A tensão entre os dois tipos de eficiência é uma das características da formulação da TII. Entretanto, tal discussão não está contemplada nos modelos apresentados até aqui.

Os outros parâmetros incluídos nas duas primeiras equações apresentadas em (2.5) são de natureza demográfica (η) ou de preferência (ρ e μ). Deve-se observar que a solução acima apresenta as condições da trajetória ótima do capital no tempo, sujeito à variável de controle, que é dada no caso pelas condições impostas ao comportamento do consumo e pelas condições de transversalidade.

Percebe-se que a trajetória do capital depende do parâmetro tecnológico “potencializado” pelo parâmetro distributivo somado ao crescimento populacional. A trajetória de consumo *per capita* depende apenas da primeira parte. Finalmente, a trajetória do custo marginal associado à utilização de uma unidade suplementar de capital a cada instante do tempo está balizada pelo parâmetro de preferência intertemporal. Dado que $\mu > 0$, este parâmetro mantém uma relação inversa com o crescimento do consumo (ver Almeida, 1996), mostrando o papel da redução do custo do investimento no crescimento.

¹⁹ Buscamos manter em todo o trabalho uma nomenclatura comum, que evite a confusão entre os diferentes modelos.

Uma característica deste modelo é que o valor que corresponde ao estado estacionário das variáveis de controle não é afetado por parâmetros de decisão, de comportamento. É determinado exogenamente pela mudança tecnológica (o famoso resíduo da função de produção) e por características demográficas, também tratadas de forma exógena (o que poderia ser criticado por economistas clássicos, obviamente).

Introduzindo um modelo de dois fatores (ou mais), obtém-se uma dinâmica com convergência em direção a um valor correspondente ao estado estacionário, ultrapassando as limitações impostas pelo modelo H-D para a discussão da TII. Ainda assim, veremos no capítulo 3 que alguns elementos importantes do modelo Harrodiano serão recuperados.

Apresentamos os aspectos básicos do modelo S-S, suas propriedades dinâmicas e os pressupostos requeridos para a convergência, o mais importante deles resumido nas “condições *Inada*”. A conexão entre a taxa ótima de crescimento do capital e a taxa de crescimento do consumo foi feita através da fixação da “regra de ouro de acumulação”.

O modelo foi “alargado” pela inclusão de parâmetros que refletem o comportamento intertemporal dos agentes, tomando consumo e a variação do estoque de capital como variáveis de controle. Chegou-se a um modelo dinâmico em que a solução é apresentada não necessariamente como de convergência para um “estado estacionário”, mas pelas trajetórias ótimas das variáveis de controle que maximizam a utilidade do consumo agregado em um horizonte infinito de tempo, respeitando as restrições impostas pela tecnologia (o “preço sombra do capital” é determinado endogenamente pela equação de co-estado) e pelos parâmetros demográficos.

A ampliação do escopo do modelo, tomando por exemplo, uma solução particular em torno do “estado estacionário” mostra que fundamentalmente o comportamento das variáveis de controle é determinado por parâmetros exógenos da função de produção e os parâmetros demográficos

A relação entre a trajetória do capital K^* e o preço sombra do investimento, θ , (ver (2.4)) mostra a possibilidade de estabelecer um diagrama de fase em que a trajetória estável depende das condições iniciais das duas variáveis. Preços-sombra do investimento e nível do estoque de

Por isto não utilizamos σ , como é costume e sim μ para o parâmetro de preferência da função de utilidade.

capital elevados levariam a trajetórias que violariam as condições de transversalidade, pela criação de expectativas de valorização superiores ao nível de produtividade que propiciaria o aumento do consumo futuro. A trajetória se afastaria da trajetória estacionária. Algo semelhante, mas em sentido inverso, aconteceria com valores muito reduzidos das duas variáveis, que criariam expectativas de retração da atividade econômica.

Um ponto básico do modelo ampliado é que a trajetória estável é negativamente inclinada no diagrama de fase, porque um maior estoque de capital permite um maior nível de consumo no estado estacionário, o que, segundo a solução obtida em (2.5), requer um menor valor de θ . Uma vez que a trajetória converge para um ponto de estado estacionário, com crescimento zero do capital, o crescimento de longo prazo seria impossível. Esta conclusão, comum aos modelos neoclássicos apresentados, sugere a introdução do progresso técnico como elemento relacionado ao crescimento de longo prazo das economias.

O principal objetivo ao apresentar esses modelos de crescimento foi evidenciar tanto a limitação de tratar crescimento pela intensificação do uso de fatores quanto a de considerar a relação entre fatores como elemento fundamental para diferenciar os enfoques que em seguida tratarão o progresso técnico. Nosso argumento básico de que a Teoria da Inovação Induzida está amparada em modelos de crescimento do tipo *S-S*, e não em desdobramentos do modelo *H-D*, é fundamental para entender sua concepção e as críticas que a ela faremos ao longo deste trabalho.

2.2 Modelo de Crescimento Sustentado e Progresso Técnico

2.2.1 Um esquema geral: modelos de crescimento sustentado e medidas de progresso técnico

A avaliação que se pode fazer até o presente momento é que tanto o modelo *S-S* como sua versão atualizada não fornecem uma explicação para o crescimento no longo prazo. Tem-se claro que limitar este tipo de análise a condições de curto prazo seria algo de pouca utilidade.

Seria possível realizar algumas modificações básicas no modelo *S-S* visando à incorporar não somente um termo responsável pelo progresso técnico, mas que permitisse caracterizar seus efeitos? Esta é a discussão que faremos a seguir, ainda no contexto dos modelos de crescimento precursores dos modelos de “crescimento endógeno”. Entretanto, somente ao final do capítulo 3

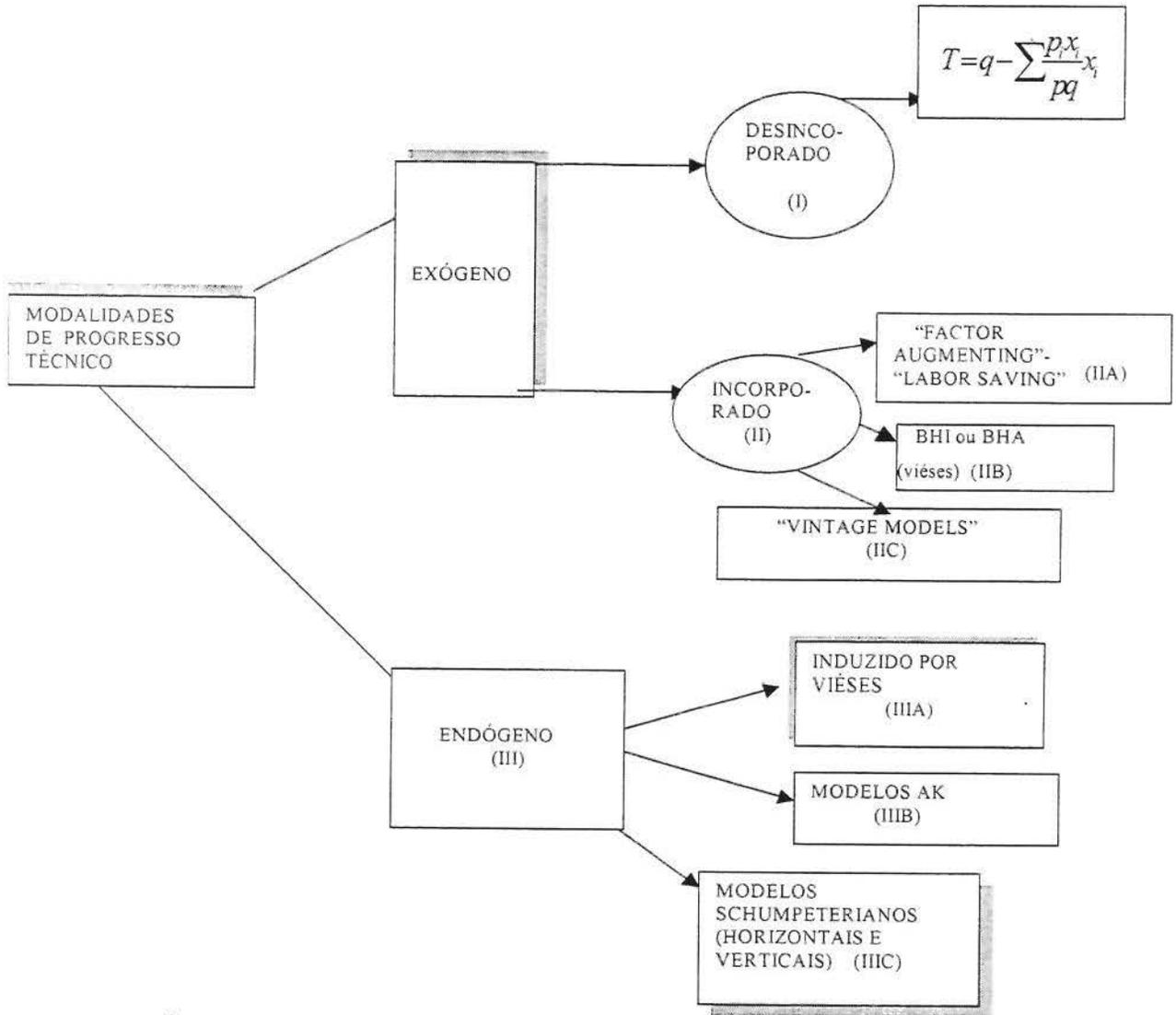
analisaremos a relação entre progresso técnico tal como foi formulado, com a idéia de crescimento balanceado, o que forma a estrutura básica para desvendar as limitações teóricas da TII.

Iniciaremos com a apresentação de um esquema conceitual sobre a questão do progresso técnico, a partir da Figura 2.1. As ramificações nela apresentadas demandam algumas explicações. Em primeiro lugar, a divisão entre exógeno e endógeno tem que ser clarificada no contexto da visão neoclássica²⁰. No campo conceitual neoclássico a questão da endogeneidade é tratada do ponto de vista do efeito sobre o processo de crescimento econômico: o progresso técnico deve ser o elemento determinante de retornos crescentes a escala ou gerar externalidades positivas de uma forma que garanta o crescimento sustentado no longo prazo.

A apresentação do trabalho seguirá, a partir desse ponto, de forma aproximada, a ordem proposta pela Figura 2.1, cujo critério básico é o seguinte: no topo estão formulações mais simples, com menor grau de vinculação com os mecanismos de geração de inovações. Podem ser encaradas como medidas de resíduos e de efeitos do processo de inovação (viés, por exemplo). Os itens intermediários referem-se aos modelos que atribuem exogenamente, por exemplo, a um novo equipamento, um ganho de produtividade que poderia ser, em sua maior parte, devido ao uso de um fator e não de outro. Já os modelos endógenos necessariamente envolvem a determinação de mecanismos explicativos para os processos de inovação, diferindo na ênfase dada ao que cada um considera o mecanismo explicativo básico desse processo.

²⁰ É comum atribuir ao modelo S-S e suas derivações o título de “neoclássico”, deixando fora deste grupo os modelos com rendimentos crescentes e que não respeitam as “condições Inada”. Todavia, tomando o ponto de vista de Chiaromonte & Dosi (1993), poder-se-ia definir um modelo “não-neoclássico”: a consideração da diversidade das formas de atuação dos agentes, o papel das interações de mercado no ajustamento intersetorial da demanda sem uma correspondente maximização da utilidade agregada, além da emergência, no processo, de novas assimetrias entre agentes, com conseqüências macroeconômicas.

Figura 2.1. Modalidades de Progresso Técnico



A medida geral do resíduo tecnológico em **I**, da Figura 1, aparecerá em vários pontos da discussão, sem entretanto ser objeto de um estudo detalhado.²¹ O item **IIA** será exaustivamente tratado no capítulo 3. A modalidade **IIB** também aparece em vários modelos, uma vez que é básica para o entendimento do modelo de inovação induzida apresentado em 4.2, que obviamente é o fundamento microeconômico para as discussões em torno da modalidade **IIIA**, que aparece nos itens 3.2 e 3.3. Os modelos contidos na modalidade **IIC**, de safra de capital (*vintage models*), somente aparecerão quando for necessário no capítulo 6, em diante, em que se busca uma base para a comparação entre os elementos da teoria de inovação induzida e modelos relativos aos itens **IIIB** e **IIIC**.²²

A apresentação feita a partir da Figura 1 introduz os capítulos que se seguem, já buscando o sentido do termo "modelo de crescimento endógeno". O tipo mais geral, associado à idéia de "fundamentalismo do capital" recebe o nome de modelo *AK* (**IIIB**). A apresentação de uma versão do modelo, a seguir, deve deixar claro que sua inclusão como modelo em que o progresso técnico é endógeno é um pouco imprecisa. Citando Aghion e Howitt (1998:152): "porque o enfoque *AK* não distingue entre inovação e acumulação de capital, ele não pode capturar o papel crítico da inovação em tornar o crescimento sustentado".

O esquema não faz menção explícita aos modelos evolucionistas que serão mencionados no final do trabalho. Apesar de muitos modelos das modalidades apresentadas em **IIIC** tratarem de temas convergentes aos modelos também chamados "*neoschumpeterianos*", a base teórica é bastante distinta, principalmente no que se refere ao uso de funções de produção. Esses modelos não serão apresentados de forma detalhada, buscando-se apenas no capítulo final, os pontos de aproximação temática e que servem de base para a discussão da Teoria da Inovação Induzida à luz do conhecimento atual.

²¹ Antle e Capalbo (1988:50) fazem uma revisão das tentativas de mensurar o resíduo tecnológico, termo inicialmente atribuído a Domar. Ver também Jorgenson & Griliches (1967)

²² Vale uma observação: os modelos de "safra de capital" são modelos em que a inovação é corporificada (*embodied*) na compra de um novo equipamento. Este é um sentido estrito e compatível com a visão "fundamentalista" do capital. Pode-se relaxar esta hipótese e conceber que um trabalhador (bem) treinado por uma empresa corporifica um conhecimento que é perdido quando de sua dispensa por motivos econômicos. Tal conceituação abre espaço para o tratamento que daremos às funções de produção no item 3.2. Ver Jorgenson (1966) e Fare *et alii* (1994).

2.2.2 Modelos de Crescimento Sustentado

A principal característica dos modelos AK é dada pela proporcionalidade entre capital e produto, ou entre K e y (definido em termos *per capita*). Isto significa que não são válidas as “condições *Inada*”, e que é possível supor que uma elevação na taxa de poupança s resulte em maior acumulação, sem os efeitos de ajustamento descritos acima, nos modelos $S-S$ ²³. Tais modelos, idealizados por Von Neumann e apoiados teoricamente na observação de Knight de que a idéia de retornos decrescentes não poderia ser aplicada a um conceito amplo de capital (aspecto comentado por Solow, 1992), foram recuperados por Romer (1986) no contexto das novas teorias do crescimento endógeno.

Jones (1995:495) amplia esse sentido, abrindo uma perspectiva para testes econométricos. Para ele, uma marca típica da literatura de crescimento endógeno é que mudanças permanentes em variáveis afetadas por políticas governamentais conduzem a alterações permanentes nas taxas de crescimento.²⁴

O modelo AK pode ser considerado como uma “atualização” do modelo H-D que vimos acima, mantendo a diferença com o modelo S-S. Como mostra Frankel (1962), não haveria razão para supor coeficientes fixos entre os fatores (k constante), uma vez que a introdução de um termo A , “*factor scaling*”, na função de produção, permitiria manter a proporcionalidade entre produto e capital (v constante) sem implicar as limitações que a restrição citada impunha ao modelo H-D. O termo A teria um papel mais amplo que o fator tecnológico utilizado no modelo S-S. Isto permitiria aceitar rendimentos constantes (retornos sociais constantes) da função de produção sem que os rendimentos decrescentes associados ao fator capital determinassem uma dinâmica semelhante à do modelo S-S, ou seja, seria possível um crescimento sustentado com base no efeito “tecnológico” associado à acumulação de capital.

²³ Isso significa que $f(K)$ não tende a zero quando K tende a infinito.

²⁴ Citando Grossmann & Helpman (1991), o autor lista uma série de fatores causadores destes “choques permanentes de crescimento”, entre eles: investimento em capital físico, investimento em capital humano, crescimento da participação das exportações no produto, o fortalecimento dos direitos de propriedade e a pressão regulatória. Todos evidenciam uma certa inconsistência em incluir os modelos, como o AK , justamente em um subitem dedicado ao progresso técnico. Todavia preferimos privilegiar a questão de *exo/endogeneidade* como um aspecto central na discussão da TII.

O modelo a seguir, desenvolvido por Romer (1986), resumido por Almeida (1996) e também por Aghion e Howitt (1988:26-31), foi um dos precursores dos modelos AK na atualidade.

Parte-se de uma função de produção definida como, $Y_j = \bar{A}K_j^\alpha L_j^{1-\alpha}$ em que :

$$\bar{A} = A(K/L)^\beta \text{ ou } \bar{A} = A^*(K)^\beta \quad (2.6)$$

sendo que o parâmetro β estabelece a relação entre o nível tecnológico, ou do conhecimento, com a acumulação de capital.

Esta forma geral de apresentar o problema inclui o caso particular que é o de considerar uma proporcionalidade direta entre produto e capital (tal como na ilustração apresentada por Barro e Sala-i Martin, 1995:39). A importância de impor esta restrição ficará clara logo a seguir. O modelo é definido facilmente como sendo um problema de maximização da utilidade sujeita a uma restrição dada pela trajetória do investimento.

Define-se como

$$\begin{aligned} \max \int_0^\infty u(c_t) e^{-\rho t} dt \\ \text{sujeito a } dK/dt = \bar{A}K^\alpha - c, \text{ com } \dot{K} \geq 0 \end{aligned} \quad (2.7)$$

Há algumas suposições importantes sobre a firma:

a) Privadamente, os agentes, tomados como típicos, não consideram a relevância do processo global de acumulação no aumento de produtividade. Suas decisões são tomadas apenas com base na pequena parcela do conhecimento que “transborda” para sua firma;

b) Os agentes são capazes de antecipar corretamente o nível do capital escolhido por todos a cada momento, pois as firmas são idênticas.

A solução encontrada para o problema, impondo a restrição de retorno social constante, pode ser obtida tanto através da Equação de Euler (Kamien & Schwarz, 1991) quanto por um Hamiltoniano (Almeida, 1996). O resultado é apresentado pela equação (2.8), a seguir:

$$g_y = g_c = \frac{\alpha A - \rho}{\mu} \quad (2.8)$$

em que ρ e μ são respectivamente a taxa de desconto intertemporal e o inverso da elasticidade de substituição intertemporal de cada agente. São pois parâmetros de decisão afetando as condições do “estado estacionário”, o que torna este modelo diferente do *S-S* e, sob este ponto de vista, mais completo, mesmo quando se considera o modelo atualizado, apresentado no item 2.1.3. Nota-se que quanto menor a elasticidade de substituição intertemporal, menor o incentivo à poupança, menor a taxa g associada ao estado estacionário.

A diferença em relação ao modelo anterior está na facilidade com que seria possível “modelar” os efeitos de políticas no crescimento. Por exemplo, modificando \bar{A} tal como em (2.6) para $\bar{A} = A (N \cdot K)^\beta$, em que N é o número total de empresas, teríamos uma outra interpretação para g , no estado estacionário, distinta da apresentada em (2.8).

Esta modificação – à parte as críticas reconhecidas desde o artigo clássico de Dixit & Stiglitz (1977) sobre a desconsideração da importância da estrutura de mercado (ver também Grossman e Helpman, 1991, e a síntese das formulações neoclássicas atuais sobre o problema em Aghion & Howitt, 1998:205-225) – supõe que o crescimento do número de empresas, dada a tecnologia, teria um efeito gerador de externalidades com impacto positivo sobre o crescimento. A modificação resultante, em relação a (2.8), daria uma nova expressão:

$$g_y = \frac{N^{1-\alpha} A \alpha - \rho}{\mu} \quad (2.9)$$

O resultado acima motivou estudos mais detalhados no campo do comércio exterior (como uma defesa da especialização), mas é duramente criticado por apontar o processo de desenvolvimento econômico como algo simples, passivo, que independeria em grande parte de processos competitivos, acertos de política e, principalmente, por não considerar de forma adequada a relação entre o *mix* de produtos dos países vendedores e compradores no que se refere à evolução das elasticidades-renda dos produtos.

Outra forma de apresentar uma relação linear entre produto e capital pode ser derivada de um modelo mais amplo, baseado em atividades de P&D, que passa a especificar a participação do capital humano (ver Almeida, 1996, para o modelo do capital que se acumula de forma

involuntária). Parte-se da maximização da função utilidade definida em termos de valor presente (fluxo descontado por $e^{-\rho t}$, sendo ρ a taxa de preferência intertemporal), sujeita a restrições relativas à evolução do consumo (tal como apresentamos no sub-item 2.1.3), e às condições de crescimento do capital *per capita*, nas suas duas modalidades, físico e humano.

$$\max_{i_t^k, i_t^h} \int_{t=0}^{\infty} e^{-\rho t} u(c_t) dt, \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \text{sujeito a } c_t &= (1 - i_t^k - i_t^h) y_t \\ y_t &= A K_t^\alpha h_t^{1-\alpha} \\ dK/dt &= i_t^k y_t - \delta k_t \\ dh/dt &= i_t^h y_t - \delta h \end{aligned}$$

A forma da função utilidade com elasticidade de substituição intertemporal constante é a mesma que a apresentada na expressão (2.7). A maximização aparece restrita por uma função de produção que introduz o termo h_t , relativo à participação do capital humano. Com isto, definem-se as condições de crescimento de cada componente do capital pela diferença entre o produto da taxa de investimento em suas distintas modalidades (i_t^k e i_t^h) pelo produto y_t , descontada pelos respectivos valores de depreciação (δK e δh). A restrição central do modelo é a que melhor o define: “a função de produção apresenta retornos constantes a fatores que se acumulam, o que gera o crescimento endógeno” (Jones, 1995a:503).

Colocando em destaque a função de produção $y_t = A k_t^\alpha h_t^{1-\alpha}$ do conjunto de restrições impostas a (2.10), chega-se, segundo Jones (1995:504), ao estabelecimento de uma relação fixa $\psi = h/k = (1-\alpha)/\alpha$. Este resultado indica que os dois tipos de capital devem acumular-se “passo a passo”, de forma concatenada.

Com isto,

$$y_t = \dot{A} K_t \text{ sendo } \dot{A} \psi^{1-\alpha}. \quad (2.11)$$

Tomando o logaritmo natural da expressão (2.11) e depois diferenciando para obter as taxas de crescimento, chega-se a:

$$g_y = -\delta + \tilde{A}i^k \quad (2.12)$$

em que δ é a taxa de depreciação do capital físico; i^k , como vimos, é a taxa de investimento em capital físico.

A equação (2.12), semelhante a (2.8), mostra que a taxa de crescimento do produto é uma transformação que acompanha passo a passo a taxa de crescimento do investimento em capital físico.

Apesar da simplicidade desta nova formulação do modelo *AK* e de sua suposição de que uma economia possa crescer sem que se especifique precisamente a forma de interferência do progresso técnico, seu “realismo” estaria apoiado no fato estilizado de que existiu uma estabilidade da relação *K/Y* (que chamamos ν) ao longo do século XX.

Dois pontos merecem ser ressaltados: a) o modelo seria “anterior” ao modelo descrito a partir da expressão (2.8), no sentido de não incorporar o parâmetro μ , relativo às decisões intertemporais de consumo; b) por outro lado, é curiosa sua inclusão no item relativo ao progresso técnico, uma vez que este não estaria explicitado na forma reduzida do modelo, sendo atribuído à acumulação involuntária de capital humano.

Ao primeiro ponto há pouco que acrescentar. Vale mostrar que nessa nova formulação o consumo passa a ser definido por $c=(1-s).y$, que na expressão (2.10) aparece a cada momento por diferença. Um maior nível de consumo no futuro pode compensar a renúncia atual determinada por um esforço de investimento superior ao que determinaria as condições de transversalidade exigidas pela formulação dos modelos *S-S* apresentados no item anterior. A avaliação da ineficiência propiciada pelas elevadas taxas de crescimento só seria realizada *ex-post*, uma vez estimado o parâmetro de risco μ .

O segundo e mais importante aspecto se refere-se à forma com que o progresso técnico aparece implicitamente através de uma relação linear entre as duas modalidades de capital, em que o crescimento de um é acompanhado “passo a passo” pelo outro. (Jones, 1995a: 504, usa o termo *affine* para expressar essa idéia).

Metcalf (1997:94) dá uma indicação interessante, ao comentar a forma como autores conhecidos, como Jorgenson & Griliches (1967), dedicaram um enorme esforço para sofisticar a mensuração do resíduo da função de produção: não que para estes autores o progresso

tecnológico possa ser desconsiderado, mas sim que os canais em que o conhecimento aumenta o produto por pessoa são aqueles tradicionais da acumulação de fatores e os da substituição de fatores. Obviamente os modelos *AK* pertencem ao primeiro tipo, a partir da hipótese da proporcionalidade entre produto e capital que cria uma espécie de estado de acumulação permanente no longo prazo (e que, inclusive, não leva em consideração a existência dos ciclos econômicos). Finalmente, cabe observar a aderência das hipóteses apresentadas nas equações acima, especialmente pela expressão (2.12), que permite testar as restrições apontadas pelo modelo com base nos testes de raiz unitária e da presença de tendência determinística nas séries de produto e de investimento. O objetivo do que virá a seguir é ilustrar a relativa facilidade com que os modelos *AK* podem ser testados a partir dos conhecimentos atuais de econometria de séries temporais.

Jones (1995a) apresenta o resultado dos testes para as economias da OECD de 1900 a 1990. Para tanto propôs o seguinte modelo

$$\dot{y}_t = A(L)\dot{y}_{t-1} + B(1)i_t + C(L)\Delta i_t \text{ sujeito a } c_k = - \sum_{i=k+1}^p b_i, \quad k=1 \dots p-1,^{25}$$

Trata-se de desenvolver um teste para $B(1) > 0$, a partir de uma equação reduzida com 3 polinômios especificando os *lags* da variável endógena defasada, do diferencial do investimento e, o mais importante, dos investimentos defasados.

O teste para $B(1) > 0$ indica se os choques de investimento têm efeito permanente sobre a taxa de crescimento do produto. A observação de que as séries univariadas de investimento não rejeitam a presença de raiz unitária e que isto ocorre raramente para as séries de produto é indicador de que os modelos *AK* não correspondem à experiência empírica da maioria dos países desenvolvidos. No máximo, os efeitos do investimento são de curto prazo. Testes semelhantes, de natureza multivariada (teste de co-integração de Johansen), foram conduzidos para a Itália por Mattana (1997).

A breve referência aos métodos empíricos visa apenas a mostrar que, apesar da facilidade em utilizar os modelos *AK* em relação aos estudos de impacto de políticas, a existência de

²⁵ Ver o trabalho de Jones (1995a:509). As raízes dos polinômios estão fora do círculo unitário. (Sugere-se a leitura de Harvey (1993) para os que não têm familiaridade com a notação acima e com a solução de modelos com defasagens).

trabalhos que apontam a refutação de sua hipótese de crescimento sustentado sugerem uma investigação mais aprofundada da relação entre crescimento, fatores e inovação tecnológica.²⁶

2.3 *Uma avaliação preliminar dos modelos*

A apresentação baseada em **IIIB** da Figura 2.1 evidenciou as limitações de uma proposta de endogeneização dos fatores determinantes do crescimento como um retorno ao “fundamentalismo do capital”. Mais do que isto, as críticas também atingem os modelos que de alguma forma procuram especificar os elementos causadores do crescimento sustentado, como vimos.

Dois pontos emergem da discussão feita neste capítulo:

a) A busca de alternativas para explicar o crescimento além da consideração do resíduo nos modelos *S-S*. Como aponta Mattana (1997:594), as medidas do resíduo subestimam a importância da contribuição do capital ao crescimento, a partir da idéia de que sua contribuição cai com a diminuição da produtividade do capital;

b) Por outro lado, há poucas evidências empíricas que sustentem o “*capital fundamentalism*”, o que contribui para um certo ceticismo em relação ao poder explicativo das teorias de crescimento (equilibrado ou não) no longo prazo.

Voltamos então ao início, mais precisamente no item em que justificamos nosso interesse pela Teoria da Inovação Induzida (TII). Um dos argumentos fortes a seu favor reside na sua capacidade de endogeneizar os sinais dados pelo mercado – como isto é feito é o que veremos a seguir - mostrando o “caminho” de uma política eficiente no aproveitamento dos recursos escassos. Os modelos *AK* e as versões mais amplas de crescimento endógeno permitem avaliar (inclusive econometricamente) os efeitos de políticas no crescimento. A crítica de Solow (1995),

²⁶ Ver Stern (1996) para uma defesa da relevância da TII em comparação aos modelos de crescimento endógeno, limitadamente associados aos modelos *AK*. Solow (1995) faz uma crítica baseada no fato de que alguns resultados de crescimento dependem apenas do diferencial entre taxas e não dos valores das variáveis que afetam o crescimento. Jones (1995_b) aponta o mesmo problema. Solow, de forma complementar, cita um exemplo que nos interessa de perto: uma economia em desenvolvimento pode crescer na medida apenas do crescimento de seu investimento, uma vez que a população rural funcionaria como “colchão amortecedor” de uma possível descoordenação do processo. Isto não estaria de acordo com a enorme dificuldade da maioria dos países em sair do sub-desenvolvimento no século atual. Poder-se-ia sugerir a Solow modelos de crescimento que privilegiam a geração de desigualdades e não a convergência. (Para um comentário comparativo, ver Silveira & Kageyama, 1997).

por mais que represente uma defesa das medidas exógenas, centra-se na propensão que têm estes modelos a atribuir ao capital justamente o que seria efeito do processo inovativo.

A observação sugere um “recoo estratégico” que permita partir de **IIA**, da Figura 2.1, passar por **IIB** – duas visões em que o progresso técnico é tratado ainda de forma exógena, de acordo com a conceituação explicitada acima- para chegarmos em **IIIA**, já na versão de dois setores que é característica da TII.²⁷

Iniciemos por **IIA**. Segundo Metcalfe (1997:94), uma forma de ampliar a concepção do progresso técnico como resíduo é considerar que um “salto” - dadas as participações relativas dos fatores - induz um maior volume de poupança *per capita* que, em um efeito encadeado, induz a substituição de trabalho por capital. A contribuição total do “salto” de produtividade para o crescimento *per capita* é o resíduo dividido pela parcela em valor do trabalho no total do produto.

Nas situações de crescimento equilibrado, com v constante, todo aumento do *output*, ainda segundo Metcalfe, seria contabilizado no aperfeiçoamento que se originou do efeito do “salto” na função de produção, sem a necessidade de considerar o processo de intensificação do capital. A medida apresentada em **I**, que é a uma das medidas da Produtividade Total dos Fatores (PTF), seria representativa desta versão.

Como se vê, voltou-se para um ponto anterior ao representado pelos modelos AK em uma escala evolutiva que considera primordialmente o grau de endogeneidade dos choques e mudanças nos parâmetros relativos à tecnologia nas funções de produção. A razão básica desse retorno está na possibilidade de incluir nestes modelos as medidas dos vieses tomados como exógenos e “jogá-los” em um contexto de crescimento balanceado para, finalmente, contrapô-los às tentativas de conciliar alocação eficiente e progresso técnico. É o desenvolvimento que faremos a seguir.

²⁷ Endogeneidade avaliada pela capacidade de um investimento ou choque inovativo em sustentar o crescimento, o que não necessariamente significa que o choque tenha causas explicadas pelo próprio movimento da economia. Mostraremos que a intenção da TII é incorporar uma visão de endogeneidade mais ampla que a dos modelos AK.

3 *A Teoria da Inovação Induzida: medidas do viés tecnológico e o mecanismo de Indução* Equation Section (Next)

Este capítulo busca apresentar de forma mais rigorosa os elementos que constituem a Teoria da Inovação Induzida. Para tanto, iniciamos com a apresentação do conceito de viés e as metodologias de sua medição. O objetivo não é dar sustentação a um exercício econométrico de estimação de viés, mas mostrar como as diferentes formulações estão fundamentadas em diferentes concepções de viés, o que é útil como alerta para os usos "intuitivos" da idéia, como se ela fosse um atributo corriqueiro dos processos econômicos. Em seguida apresentamos os modelos macroeconômicos básicos que envolvem a apresentação da Fronteira de Possibilidades de Inovação- FPI, relacionando-a com trajetórias viesadas.

Com isso faz-se uma primeira apresentação do mecanismo de indução tecnológica e a dinâmica de crescimento associada a certos parâmetros da FPI. Em seguida, discute-se a Fronteira de Possibilidades Históricas de Inovação – IPC e um balanço visando evidenciar as limitações do enfoque macroeconômico e a necessidade de desenvolvimento de modelos microeconômicos que associem a decisão de gasto com pesquisa ao mecanismo de indução, uma vez aceita a idéia de que uma FPI possa ser conhecida.

3.1 *Conceituação e mensuração de viés*

3.1.1 Os fundamentos para a conceituação de viés

Conceituar precisamente viés tecnológico é uma tarefa importante, uma vez que este comumente é confundido com resultados de medidas de política. Por exemplo, estimular a mecanização agrícola em um país com abundante mão-de-obra é associado erroneamente ao conceito de viés, como demonstra Santos (1987).²⁸

O modelo teórico parte de uma função de produção “bem comportada”, $y = F(K,L)^{29}$, em os efeitos do processo inovativo são calculados por meio da mensuração do progresso técnico

²⁸ A preocupação com o uso cuidadoso da idéia de viés é compatível com a crítica de Lucas em sua busca de “identificar parâmetros estruturais que sejam invariantes diante dos tipos de mudanças de políticas que se está interessado em avaliar” (Higachi, 1998:18). Para um estudo dos desdobramentos econométricos desta análise, ver Hendry (1995). É interessante observar que a invariância de gostos e tecnologias às políticas anticíclicas pode ser um elemento valioso de cobrança à forma livre com que o tema da endogeneidade é tratado pela TII. Nossa posição crítica, bem diferente desta, aparecerá ao final deste capítulo.

²⁹ Os problemas relativos ao uso de função de produção agregada são apontados por vários autores. Este é um debate que não trataremos no presente trabalho. Ver Gomulka (1990) para uma análise detalhada da questão, principalmente

não-incorporado, o que pressupõe que o processo inovativo é independente da acumulação e a $F(.,.)$ não capta a presença de (des)economias de escala. Esta especificação do modelo resulta em uma concepção muito estreita de processo inovativo, indo um pouco além de explicar as inovações organizacionais. (Gomulka, 1990:118-119)

A linearização da função $F(.,.)$, - com rendimentos constantes à escala, ressalte-se desde logo - pelo cálculo das derivadas em função do tempo permite captar efeitos de *feedback* que a forma não reduzida é incapaz de fazer. A re-especificação do modelo introduz um parâmetro que capta os efeitos encadeados da melhoria dos parâmetros sobre a produção e o efeito multiplicador resultante, considerando fixa a relação capital/produto.³⁰ Tal formulação ainda não capta os efeitos das (des)economias de escala, mas permite ao menos reduzir as limitações do modelo original. É com este modelo que trabalharemos no sentido da definição do viés e de sua relação com o sistema de preços relativos da economia.

Iniciemos com :

$$g_Y = g_K \pi + g_L (1 - \pi) + \lambda \quad (3.1)$$

que é a função de produção expressa em termos das taxas de crescimento do produto. O parâmetro π expressa a elasticidade do produto em relação ao capital³¹ e λ a contribuição qualitativa (desincorporada, que corresponde a **IIA** da Figura 2.1 relativa às mudanças causadas pelo aumento da produção. A articulação destes dois parâmetros permite calcular o efeito multiplicador do “progresso técnico desincorporado”, na forma tradicional do efeito multiplicador.

quando se considera uma economia com inovação tecnológica, que interrelaciona efeitos desta sobre o rendimento dos fatores, sobre a elasticidade de substituição entre eles e as economias de escala. Ver também Salter (1966). Quanto às características das funções de produção, a mais destacada pela TII refere-se à forma de expressar a flexibilidade entre fatores. O(s) parâmetro(s) relacionado(s) à elasticidade de substituição podem ou não ser constantes e serem definidos de forma agregada (as funções mais antigas) até formas desagregadas (como a formulada por Diamond ou a SSG). Além disto, podem incorporar um tipo de desagregação do capital que considere diferentes estruturas de mercado (setor fornecedor de insumos monopolista, setor gerador de inovações competitivo, como em Aghion & Howitt, 1992). Finalmente, há resultados que dependem da forma funcional adotada, o que configura um artefato, estratégia a ser evitada. As dificuldades de estimação de funções de produção e os teoremas relacionados ao comportamento dual motivaram a busca de estimativas dos parâmetros por meio de funções custo ou lucro, como veremos à frente 0, quando falarmos da formulação microeconômica.

³⁰ Ver a explicação dada acima, por Metcalfe (1997:94).

³¹ Utilizamos β na fórmula para representar o parâmetro distributivo da função de produção, sem considerar qualquer tipo de hipótese quanto ao padrão concorrencial.

Introduzindo-se uma nova variável v , chega-se a uma expressão que relaciona a taxa de crescimento do capital com a taxa de crescimento do produto, apresentada abaixo. Obtendo-se $g_K - g_Y = g_v$, permite-se que a função linearizada (3.1) seja re-escrita em termos *per capita* como:

$$g_Y - g_L = qg_v + \alpha \quad (3.2)$$

Em (3.2) tem-se a expressão do diferencial entre as taxas de crescimento do produto e a taxa de crescimento do trabalho em termos da “elasticidade do produto em relação ao capital” dividida pela “elasticidade do produto em relação ao trabalho”, que é representado por q multiplicado pela taxa de crescimento da relação capital/produto somado a um termo α , que é justamente a expressão do “processo de propagação do crescimento”. Obtém-se $\alpha = \lambda / (1 - \pi)$, que é a soma dos termos de uma progressão geométrica com fator π ³²

A introdução do termo α tem implicações sobre a análise dos efeitos das inovações sobre uma economia em um elevado nível de agregação. Mostraremos que estas implicações estão diretamente relacionadas tanto com o conceito de uma trajetória neutra de crescimento quanto com a própria forma de conceituar e mensurar o viés tecnológico. Essa última forma seria necessária para justificar a idéia de que a TII poderia funcionar “caso os sinais dos preços relativos pudessem ser adequadamente captados” (Silveira e Salles-Filho, 1990)³³. Uma economia com uma taxa de poupança e uma taxa de crescimento da participação do trabalho no produto relativamente estável (que são fatos estilizados aceitáveis ao longo do século XX) deixaria evidente a importância do termo α , representando o efeito cumulativo da mudança qualitativa transmitida pelo capital.

O desenvolvimento a seguir, que está relacionado à mensuração do viés da economia, apropria-se dos termos λ e α como forma de avaliar os efeitos do progresso técnico desincorporado sobre o produto e sobre as relações capital/trabalho e capital/produto, visando a uma primeira definição, simplificada em um modelo de dois insumos e um produto, do conceito de viés. No item 3.3 relacionaremos o conceito de viés ao da existência de uma fronteira

³² As transformações apresentadas até aqui foram facilmente obtidas utilizando-se as propriedades dos logaritmos e o cálculo da derivada do quociente K/Y .

³³ Este não é o ponto de vista expresso em Binswanger (1978) que, como veremos, buscou desvincular a TII destes “macrofundamentos”.

conhecida *ex-ante*. No caso da formulação de progresso técnico tomado como exógeno, seu efeito dá-se ao longo de uma trajetória assintótica.

3.1.2 A medida do viés com progresso técnico exógeno

Passemos diretamente às formas de mensurar viés nas duas versões citadas. A primeira, tomando em conta os efeitos de curto prazo, e a segunda, a mais importante, uma “projeção” dos efeitos de longo prazo, por levar em conta o “efeito de propagação do crescimento”. Em seguida, apresentaremos outra forma de conceituar o viés, tal como formulada por Binswanger (1974a), importante para o item que discute os aspectos microeconômicos e mais próximos da formulação mais difundida do conceito³⁴. Como foi colocado, o conceito de viés será apresentado para um modelo de um produto e dois fatores. A conceituação multissetorial não altera a essência do conceito, mas como veremos, traz algumas dificuldades no estabelecimento da relação entre inovação e crescimento.³⁵

A definição de viés parte da linearização da $F(;)$ utilizada para expressar as relações técnicas envolvidas na obtenção do produto agregado. A transformação logarítmica utilizada no processo permite expressar as relações em termos de taxas de crescimento, em termos da relação capital/trabalho (*Hicksiana*) ou capital/produto (*Harrodiana*). Segue-se que rescrevendo a expressão (3.1) chega-se às duas expressões desejadas, que são básicas para o conceito de viés:

$$g_Y = g_L + \pi g_k + \lambda \quad \text{e} \quad g_Y = g_L + q g_v + \alpha$$

As transformações algébricas realizadas permitem isolar os termos λ e α , que estão relacionados pelo efeito multiplicador do choque exógeno do progresso técnico por meio da

³⁴ Não vamos discutir em detalhes as questões relacionadas ao processo de agregação. Trata-se uma discussão sobre os efeitos gerados por λ e/ou α em cada setor. Pode-se colocar que este se dá a partir dos setores e não de agentes e firmas e que pressupõe algum tipo de “processo de crescimento”. Para a agregação, algum tipo de unidade de medida tem que ser adotada, por exemplo, em termos de um dos recursos não-reprodutíveis, as horas de trabalho necessárias para a reprodução do capital de um determinado setor a um determinado momento, ao longo de uma trajetória H-neutra, isto é com v^* constante. Ver Rymes (1973) para um processo de agregação em que cada setor é monoprodutor e o processo inovativo reflete a mudança na eficiência com que os insumos básicos estão sendo transformados em “produtos”. Note-se que qualquer processo de agregação é mais complicado e limitante que o simples somar das partes. Para uma discussão atualizada, ver Fare *et alii* (1994).

³⁵ Não mostraremos a sequência completa dos passos necessários para o entendimento das fórmulas apresentadas. Tal trabalho está em Gomulka (1990:117-148), Stoneman (1984:52-65) e Binswanger (1978:13-43). Vários trabalhos que visam criticar a TII o fazem partindo da versão estilizada e simplificada como apresentada em Hayami & Ruttan (1985).

elasticidade de oferta do capital, coerentemente como o que vimos no item 3.1.1. Apesar da exogeneidade, nesta formulação o crescimento do produto ao longo do tempo articula-se ao processo de acumulação pelo do efeito do progresso técnico e não apenas por meio do crescimento da relação capital/produto. Com isto, já temos os elementos básicos para conceituar viés segundo a trajetória de crescimento, seja *Hicksiana* ou *Harrodiana* (uma combinação das duas seria uma trajetória Fisheriana, que não será discutida no presente trabalho).

Começemos pela visão *Hicksiana*, sempre de acordo com a notação proposta por Gomulka (1990:118). O fator relativo ao progresso técnico λ é igual à média ponderada das produtividades marginais dos fatores pelas elasticidades de oferta correspondentes³⁶. Dito de outra forma, λ , o progresso técnico *Hicksiano* desincorporado, é resultado da diferença entre a taxa de crescimento global do produto e a média ponderada das taxas de crescimento das relações produto/trabalho e produto/capital pelas elasticidades de oferta, pesos que aparecem especificados em (3.1). Tal contribuição inclui não apenas as inovações tecnológicas, mas também a racionalização de processos e melhoria no uso das informações. Todavia, por não estar vinculada ao processo de acumulação produtiva, não incluiria processos de aprendizado (ver Arrow, 1962).

Há ainda outra forma de explicar o fator relativo ao progresso técnico. Em uma economia em equilíbrio ele seria igual a $g_C - g_Y = -\lambda$, ou seja, igual à taxa de redução percentual do custo de uma economia sob os efeitos do progresso técnico no curto prazo.³⁷ Deriva-se daí uma propriedade importante: λ é, nesta formulação, a redução do custo médio (produtividade conjunta dos fatores), dados os preços dos insumos ou o aumento da produção, se o volume utilizado de insumos for mantido constante. (Gomulka, 1990:119-120).

³⁶ Para Gomulka (1990), $\pi = \frac{F_K K}{Y}$ e $\lambda = \frac{F_L}{Y} = \frac{f_L}{Y}$. Vê-se que λ seria uma próxima a T (ver Figura 2.1, I) medido por unidade do produto Harberger (1996) todavia diferencia o significado do residuo tecnológico da medida da Produtividade Total dos Fatores.

³⁷ Custo aqui definido supondo equilíbrio competitivo no mercado de fatores, $rK + wL$. A variação no custo total é obtida pela média ponderada das taxas de crescimento do capital e do trabalho utilizando como pesos a participação de cada um deles no valor no produto. Dixit & Stiglitz (1977) desenvolveram um modelo clássico em que o setor produtor de insumos apresenta competição imperfeita e que serviu de base para a maioria dos modelos de crescimento endógeno desenvolvidos recentemente. Esta discussão envolve a possibilidade de transformar bens públicos, não rivais, em bens parcialmente excludentes, com conseqüências sobre a estrutura de mercado dos setores inovadores, como discutiremos no capítulo 5 e seguintes.

Uma vez definido o tipo de progresso técnico (IIA, na Figura 2.1, nas duas modalidades apresentadas), introduz-se a substituição de fatores, pelo processo de escolha tecnológica. Este permite estabelecer um valor k ótimo a partir do conhecimento da relação entre as produtividades marginais dos fatores, p . Tem-se que $k = f(p, t)$. Em uma situação de equilíbrio, p é igual à taxa marginal de substituição entre fatores.

Tem-se um parâmetro que condiciona o resultado da escolha,

$$\sigma = \frac{p}{k} \frac{\partial k(p, t)}{\partial p} \quad (3.3)$$

que é a conhecida fórmula da elasticidade de substituição, formulada por Hicks.³⁸

A medida do viés Hicksiano é então dada por:

$$VHI = \frac{1}{k} \frac{\partial k(p, t)}{\partial t} \quad (3.4)$$

definida no curto prazo, a partir da relação entre K e L . Assim podemos definir que quando $VHI < 0 \rightarrow$ poupador de capital, $VHI = 0 \rightarrow$ neutralidade e $VHI > 0 \rightarrow$ poupador de trabalho. Pode-se então aplicar o conceito de viés em (3.4) para obter:

$$g_k = \sigma g_p + VHI \quad (3.5)$$

ou seja, para mostrar que é possível decompor a taxa de crescimento da relação capital/trabalho em dois fatores:

a) substituição, dado pelo produto da elasticidade de substituição pela taxa de crescimento dos preços relativos dos fatores (trabalho/capital);

b) viés Hicksiano, VHI , determinado pela contribuição parcial do tempo ao crescimento da relação capital/trabalho. Este último fornece a medida de quanto um agente altera a relação capital/trabalho não pela mudança de seus preços relativos, mas pelo surgimento de inovações (principalmente em processo).

³⁸ Pode-se interpretar o parâmetro elasticidade de substituição como descrevendo as condições amplas em que os processos tecnológicos causam impactos. Uma medida agregada tem o defeito de não captar a maior flexibilidade de um setor em relação a outro e suas implicações sobre a participação relativa dos fatores no produto seriam avaliadas de forma mais lenta. A dificuldade maior do uso deste parâmetro é supor que ele não seja afetado pelo próprio processo inovador. A mensagem é, todavia clara, σ é um parâmetro estável e não se deveria misturá-lo com o processo inovador, pelo menos no curto prazo.

A expressão do viés *Hicksiano* (*VHI*) em relação às taxas de crescimento é definida como

$$VHI = g_k - \sigma g_p \quad (3.6)$$

O conceito de *VHI* cria a oportunidade para duas discussões básicas: uma sobre o problema da mensuração do viés e outra sobre o alcance teórico do *VHI*. Começamos pela questão de ordem prática: vieses não são facilmente mensuráveis. Não só pelas dificuldades conhecidas para estimar uma função de produção (ver Sadoulet e De Janvry, 1995) - o que é contornável - mas pelo fato de que apenas os preços são exógenos no processo de busca de solução do sistema.

De fato, tem-se que estimar mais parâmetros que equações. Não é possível supor a taxa de crescimento da relação capital/produto como dada ou restringir *a priori* o valor do parâmetro elasticidade de substituição para obter a medida do viés - por diferença, através da expressão (3.6)); menos ainda pela expressão teórica do viés, dada pela expressão (3.4). Outra sugestão, encontrada em muitos trabalhos empíricos (Binswanger, 1974b, por exemplo) como a de calcular a diferença entre elasticidade de substituição de curto e longo prazo e atribuir seu valor ao processo inovativo não constitui uma estratégia compatível com o enfoque teórico que desenvolvemos. Como veremos em 3.3, no máximo estaríamos estabelecendo a relação entre a situação de curto prazo e a curva “envelope” representada pela Fronteira de Possibilidades de Inovação, tal como definida por Ahmad (1966).³⁹

A “resposta” foi dada pela aplicação do “teorema da impossibilidade” de Diamond-McFadden-Rodriguez, citado por McFadden (1978). Em resumo, postula que em se conhecendo uma trajetória observável da relação capital/trabalho e dos preços através de série de tempo para o produto, seja possível estimar-se várias funções de produção selecionando diferentes elasticidades de substituição, compatíveis com trajetórias de crescimento e que descartem quaisquer efeitos de retrogressão tecnológica. Com isto resolve-se o problema de identificação

³⁹ Parte significativa das dificuldades anunciadas acima se originam da tentativa de mensurar o viés tecnológico sem responder se sua presença afeta diferencialmente os agentes econômicos. Sendo exogenamente determinado por λ , no caso “*Hicksiano*”, o viés deveria ter seu efeito distribuído de forma diferenciada intra e inter-setores. Este efeito seria potencializador da criação de novos vieses, sem a necessidade da suposição de que seriam neutralizados. Para uma versão nesta linha de raciocínio, ver Metcalfe (1997) e Cantner & Pyka (1997). Voltaremos a discutir este ponto a partir de David (1975) e Olmstead and Rhode (1993) no item 3.3.2.

que ocorre na estimação do viés.⁴⁰ Este método mostra, todavia, que somente impondo restrições em σ pode-se chegar a uma única função de produção. Pode-se observar que o que parece básico na formulação *Hicksiana* acarreta significativas dificuldades práticas e conceituais .

O segundo comentário refere-se, como demonstra Gomulka (1990), ao caráter limitado da definição de viés *Hicksiano*. Diferentes níveis de k (K/L) determinam diferentes respostas da taxa exógena de progresso técnico. O papel dos *VHI* é determinar um certo padrão de convergência assintótica à medida que k cresce. Façamos um raciocínio hipotético. Consideremos o viés negativo, que induziria o agente minimizador de custos a utilizar técnicas poupadoras de capital (reduzoras da relação capital/trabalho), dados os preços relativos. Tal formulação mostra que o viés nada tem a ver com a magnitude da inovação. A palavra indução aparece aqui, mas o sentido de causalidade é claro: a natureza da inovação é que induz a firma a procurar uma trajetória Hicks capital poupadora quando $VHI < 0$ (o inverso é fácil de imaginar). É o viés (exógeno) que induz a mudança.

Duas citações de Gomulka (1990:121) referendam a afirmação anterior que vai de encontro ao senso comum dos que partem da TII em suas formulações:

a)“a partir de uma dada tecnologia, a mudança de 1% dos preços relativos induz a firma competitiva a mudar K/L em σ %..... O termo σ reflete a facilidade com que um fator pode ser substituído por outro a partir de um conjunto de processos produtivos em resposta às mudanças nos preços relativos”;

b)“dados os preços relativos dos fatores, a firma competitiva pode também alterar a relação K/L em resposta à chegada de um novo processo produtivo e *VHI* mede tal mudança em termos percentuais.”

Finalmente, ainda como decorrência do conceito de *VHI*, dados os preços relativos dos fatores, o efeito de λ leva a uma mudança na participação do capital na renda. A relação entre o progresso técnico exógeno e o efeito sobre a participação do capital na renda ficará evidente quando incorporarmos a medida *Harrodiana* de viés e estabelecermos a relação entre as duas medidas, *VHI* e *VHA*.

⁴⁰ Este procedimento é semelhante ao método da máxima verossimilhança concentrada. Neste, concentra-se em um parâmetro da função, fazendo variar outro até encontrar a solução (o ponto de máxima verossimilhança). Aplica-se

Estes efeitos parciais no tempo podem ser obtidos considerando ou a relação entre produtividades fixa, ou a relação capital/trabalho fixa, expressos abaixo:

$$\frac{1}{\pi} \frac{\partial \pi (p, t)}{\partial t} = (1 - \pi) VHI \quad (3.7)$$

e introduzindo σ em (3.7),

$$\frac{1}{\pi} \frac{\partial \pi (k, t)}{\partial t} = \frac{1}{\sigma} (1 - \pi) VHI \quad (3.8)$$

A relação entre o viés *Hicksiano* e a taxa de crescimento da participação do capital em valor no produto – tomada constante a produtividade entre os dois fatores - apresentada em (3.7), mostra que um viés positivo tem um efeito proporcional sobre o aumento de π quanto maior for a participação do trabalho no produto, o que é coerente com a noção de equilíbrio assintótico. A medida *Hicksiana* do viés é a mais utilizada nas análises relacionadas à TII por relacionar diretamente o efeito da inovação tecnológica na relação entre fatores, o que a torna mais precisa. Entretanto, é possível “projetar” o efeito do viés no crescimento originado pela inovação tecnológica através do capital. É o que a medida *Harrodiana* (VHA), apresentada a seguir, possibilita.

A segunda conceituação de viés nada mais é que o resultado da incorporação do efeito de propagação do crescimento, apresentado em 3.1.1. Trata-se de um viés ampliado e projetado em longo prazo. Sabendo-se que $\alpha = \lambda / (1 - \pi)$ sendo o denominador a parcela em valor correspondente aos salários de uma economia competitiva - é fácil passar ao que chamaremos de *VHA*, ou viés *Harrodiano*.

O viés é obtido não da taxa de crescimento da relação capital/trabalho, da relação entre fatores, como no caso anterior, mas a partir da relação v , capital/produto, que é função de seu preço do capital (dado pela taxa de juros em um mercado competitivo, r) e do tempo.

Com isto obtemos que a taxa de crescimento da relação capital/produto é dada por⁴¹

$$g_v = -\sigma \cdot g_r + VHA \quad (3.9)$$

nos casos – muito freqüentes – em que não se tem solução fechada para o estimador. Ver Greene (1993:355).

⁴¹ É importante notar que em (3.9) a taxa de crescimento do valor do capital g_r entra no lugar de g_p , em (3.5)

O viés *Harrodiano*, *VHA*, por seu turno é uma versão capital/produto de *VHI*, ou seja,

$$VHA = \frac{1}{v} \frac{\partial v(r, t)}{dt} \text{ ou}$$

$$VHA = \frac{1}{\pi} \frac{d\pi(r, t)}{dt} \quad (3.10)$$

Continuam válidas as observações feitas para *VHI* (ver a expressão (3.4)).

Observando a expressão(3.2) e (3.10), e com um pouco de trabalho algébrico, chega-se à conclusão de que o sinal da variação parcial do parâmetro α em função da variação de v é acompanhado pelo sinal da variação da participação dos lucros no tempo, mostrando ter *VHA* um tipo de efeito sobre o comportamento assintótico de α quando v cresce indefinidamente, correspondente ao efeito de *VHI* sobre λ , quando k cresce (Gomulka,1990:123). O efeito “propagador do crescimento” faz com que o parâmetro α só seja independente de v quando o processo for Harrod-neutro, o que caracteriza bem essa condição. Valores elevados de v seriam obtidos da persistência de vieses positivos, poupadores de trabalho, mantidos os preços relativos dos fatores. O inverso seria válido: *VHA* seria igual a $(1-\pi)VHI$ caso a elasticidade de substituição fosse constante, com valor igual a 1.

Quanto menor σ , mais a diferença entre as duas medidas depende do fator *Hicksiano* de progresso técnico, λ (note que não há viés quando for zero). Esta observação tem implicações extremamente relevantes para a discussão que estabeleceremos ao confrontar a visão de fronteira tecnológica definida por Dandras-Kis-Kennedy-Phelps e a crítica de David (1975) à idéia de “*labor scarcity*”. Uma vez que *VHA* capta o efeito de propagação, o modelo fica completamente especificado - em uma situação de mercado competitivo, um viés positivo corresponde a um aumento da participação do capital em valor no produto. Isto fica claro na expressão (3.10).

A diferença conceitual entre as duas medidas de viés é clara. *VHI* é uma medida direta e *VHA* presume um certo efeito multiplicador a cada ponto em que a medida for feita, o que a torna uma projeção, a medida de um efeito potencial. A relação entre as duas medidas não é trivial (ver a prova em Gomulka, 1990:124). Quando a elasticidade de substituição é igual a 1, a relação entre *VHA* e *VHI* é dada pela participação relativa do trabalho no produto, que é justamente o fator de propagação da inovação. Quando $\sigma < 1$, do efeito propagador retira-se uma

parcela $(1-\sigma)\lambda$, em função da limitação imposta pela dificuldade em substituir trabalho pelo capital. Ocorre o inverso quando a elasticidade de substituição for maior que 1.

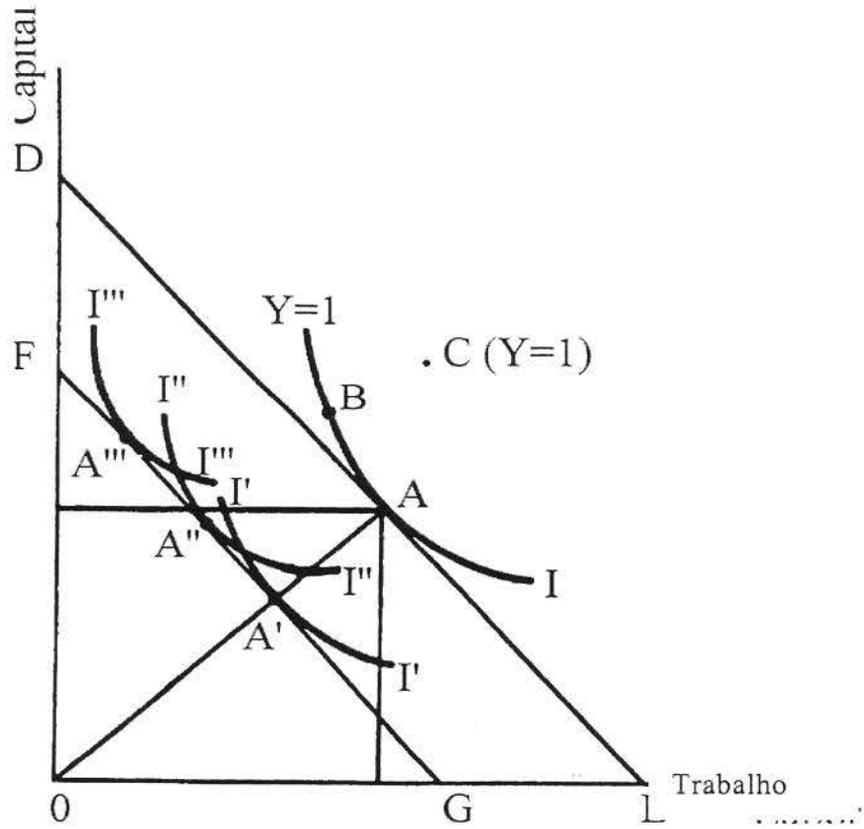
Passemos em seguida à apresentação da medida proposta por Binswanger. A Figura 3.1 ilustra o conceito de viés como formulado por Hicks (Binswanger, 1978:19) e na forma alternativa, a partir da dotação de fatores. Permite observar como o viés pode ser identificado para determinados preços relativos dos fatores ou, dado um certo nível de produto, uma situação de desequilíbrio que apontaria para uma solução viesada.

A primeira situação é observada partindo-se do ponto A para os pontos A', A'', e, que corresponderiam a uma situação neutra e a uma situação poupadora de trabalho. A segunda situação seria obtida partindo-se de outra relação de preços relativos, como em D, que corresponderia a uma situação de desequilíbrio em direção ao ponto A'', ou seja, com viés poupador. Formalmente esta situação pode ser representada considerando-se a relação entre fatores constantes e mantendo-se a perspectiva *Hicksiana*. Tem-se então

$$BHI = \frac{\partial [f_K/f_L]}{\partial t \cdot \left[\frac{f_K}{f_L} \right]} \quad (3.11)$$

sendo que f_K e f_L são os produtos marginais do capital e do trabalho. (Binswanger, 1978:42).

Figura 3.1. Viés e Progresso Técnico



Fonte: Apud Binswanger (1978)

Um valor para BHI tal que $BHI > 0$ significa um viés poupador de trabalho e assim por diante. Tal viés é obtido por uma variação das produtividades dos fatores no tempo (por conseguinte, de seus preços relativos em um mercado competitivo, dados os preços dos produtos), em um ponto de uma curva de isocusto.

Trata-se de uma medida obtida em condições excessivamente restritivas, uma vez que é mais coerente com a teoria neoclássica supor a constância de fatores exógenos, como os preços dos fatores do que da relação entre fatores, que seria uma variável de ajuste aos sinais de mercado ou ao efeito do processo inovativo. A expressão (3.11) representa um caso em que, como mostram Sadoulet & de Janvry (1995), está-se saindo de um ponto de ineficiência alocativa para outro eficiente, o que seria de pouco interesse, ainda que configurando um viés em valor. As duas medidas de viés de tipo *Hicksiano* apresentadas até aqui podem ser facilmente visualizadas através da Figura 3.1, para o caso de 2 fatores e um produto.

Binswanger (1974; 1978) propõe uma medida mais prática do ponto de vista de sua aplicação ao estudo de variáveis pouco agregadas, mas que não pode ser visualizada graficamente. Ele define viés em termos das mudanças relativas na participação dos fatores, com preços dos fatores e a escala produtiva (do *output*) mantidos constantes. Para tanto utilizou funções que assumem retornos constantes à escala separáveis em termos de preços e produtos, de forma que a participação dos fatores seja independente da escala produtiva, o que é coerente com o ponto de Gomulka (1990) da independência entre viés e magnitude da inovação. (Maiores detalhes serão apresentados no item 4.2).

O interesse da formulação de Binswanger está em traduzir a definição de viés dada acima para outra em termos da porcentagem dos fatores, que, como vimos acima, é de mais fácil generalização:

$$Q_i \Big|_{\text{preços relativos}} = \frac{d s_i}{dt} \cdot \frac{1}{s_i} \quad (3.12) \text{em}$$

que s_i é a participação do fator no custo total.

A proposta alternativa de Binswanger para a medida do viés, expressa por (3.12) permitiria trabalhar com o modelo multissetorial. Apesar da maior flexibilidade propiciada pela medida (uma vez que se sabe que o viés varia setorialmente), esta proposta exige a estimação de uma função de produção que corresponda às limitações impostas para sua obtenção.⁴² Tal preocupação é justificada quando se percebe que as duas formas “tradicionais de conceituar viés”, representadas pelas expressões (3.4) e (3.10) perdem seu sentido prático e intuitivo quando o número de fatores aumenta.

Ao invés de uma forma pura, derivada do caráter do processo inovativo, pode-se pensar nos vieses por seu efeito sobre a importância relativa de cada fator. Um viés negativo em relação a um determinado fator levaria a uma redução de sua participação em valor no produto (que é tomado como constante, junto com os preços relativos, com o objetivo de evitar que a participação dos fatores seja afetada pela escala produtiva e pelo efeito da variação dos preços sobre a elasticidade de substituição). Partindo-se de uma função de produção indexada no tempo,

⁴² Ver Binswanger (1974a) e Fare *et alii* (1994), para uma discussão sobre as formas das funções de produção e dos índices exatos e superlativos, com aplicações setoriais, com destaque para o caso da agricultura.

tem-se Y como um produto homogêneo e os componentes da matriz \mathbf{X} , x_{it} , os $i, j=1, \dots, n$ diferentes insumos utilizados na produção.⁴³

O viés é obtido a partir da comparação de pares de insumos, o que no sentido dado por Hicks resulta:

$$Mhi_{ij} = \frac{\partial \ln(x_i/x_j)}{\partial t} \Big|_{p_i, p_j \text{ com } Y \text{ fixo}} \quad (3.13)$$

Pode-se notar que as inovações ganham um sentido mais palpável, uma vez que, por exemplo, pode-se ter um viés poupador de energia em relação ao trabalho, mas poupador de trabalho em relação à fração do capital correspondente a equipamentos (que consideramos um fator). De resto, (3.13) é bastante semelhante à expressão (3.4), ainda que dependente da condição da relação de preços entre os dois insumos ser dada e a renda fixa. Cada fator tem $n-1$ medidas de viés.⁴⁴ A medida desagregada de VHA (ver a expressão 22) segue basicamente a mesma lógica. Uma observação adicional refere-se à necessidade de estimar as elasticidades de substituição desagregadas, complicando ainda mais o problema da impossibilidade apresentado acima e resolvido de forma bastante restritiva por McFadden-Diamond-Rodriguez.⁴⁵

3.1.3 Um resumo das medidas apresentadas

O conceito de viés já trata do problema básico da formulação da TII, que é o de separar mudança técnica de mudança tecnológica.

A definição de viés assumindo constante a dotação de fatores e, portanto, sua relação como fixa, é mais adequada aos objetivos de um estudo macroeconômico; a fórmula a partir de preços relativos constantes estaria mais de acordo com uma representação microeconômica do viés. Esta sugestão justifica-se a partir dos argumentos tradicionais de que os preços com que os

⁴³ Há formulações multissetoriais alternativas. Metcalfe (1997) trabalha com n -setores sem utilizar o conceito e função de produção. Por coerência com o enfoque utilizado até o presente momento, manteremos o desenvolvimento tradicional.

⁴⁴ Não confundir esta desagregação multifatorial com um enfoque microeconômico, de que trataremos mais à frente. Apenas apontamos que a ocorrência de vieses macroeconomicamente definidos a partir de trajetórias de crescimento balanceado não são facilmente obtidos pela agregação dos $n-1$ vieses de cada fator em relação aos outros.

⁴⁵ McFadden (1978) define elasticidade de substituição direta (de curto prazo) entre dois insumos de forma similar à expressão (3.3) como a “resposta proporcional em x_i/x_j a 1% de mudança no preço dos fatores, p_i/p_j , mantendo-se fixo a oferta de todos outros fatores, seu preços e a quantidade do produto final”.

agentes tomam decisões são dados e de que a dotação de fatores, quanto mais agregada, mais pode ser “prevista” pelos dos modelos de crescimento, sendo então conhecida.

O contexto da discussão da presença de viés em uma economia em crescimento parte da questão de como distinguir uma mudança na combinação entre *input* e *output* em resposta ao movimento dos preços relativos daquela devida aos efeitos do processo inovativo. Mais complicado ainda é saber como atribuir às mudanças dos preços relativos a indução ao gasto em pesquisa e, por conseqüência, à geração e difusão deste mesmo processo de inovação, questões já formuladas por Gomulka (1990).

Além da necessária distinção entre mudança técnica e mudança tecnológica, representada pela expressão (3.5), é preciso entender o porquê da dificuldade de separar efeitos quando se busca o efeito do progresso técnico sobre o produto. Como mostram Sadoulet e de Janvry (1995), a separação só pode ser obtida fixando o produto e observando as alterações nos coeficientes técnicos, para então medir a economia realizada.⁴⁶ Escolher os fatores relevantes torna-se fundamental para o argumento, assim como a faixa relevante de produção para análise.

Resumindo o foi visto até aqui:

a) Partiu-se de uma formulação genérica de uma função de produção e mostrou-se como se podem decompor os elementos relacionados ao crescimento do produto, isolando um termo de progresso técnico exógeno, no curto e longo prazo;

b) Uma transformação adequada permitiu decompor a taxa de crescimento da relação capital/trabalho e capital/produto em dois termos: um fator de substituição e as medidas do viés, que chamamos de *VHI* e *VHA*. A primeira capta o viés no curto prazo e a segunda o efeito da propagação viesada do crescimento;

c) Mostrou-se, com isto, a possibilidade de operar, em uma formulação estática e que supõe rendimentos constantes à escala da função de produção, com os efeitos do progresso técnico exógeno. Mostramos em seguida, introduzindo a formulação proposta por Binswanger, que seus efeitos podem ser medidos tanto em termos agregados como nos casos multissetoriais.

⁴⁶ Ainda assim este procedimento não se aplica a inovação em produto. Seja através de uma economia realizada pelo uso de uma nova variedade de semente (inovação em produto tornando-se inovação em processo na agricultura), seja pelo uso mais adequado de um fertilizante (aprendizado pelo uso), o requerimento é que a causa da mudança nos coeficientes técnicos seja uma inovação em processo na agricultura.

Para esse autor, a medida desagregada do viés é melhor interpretada quando calculada através dos efeitos da inovação sobre a participação de um i -ésimo fator produtivo, em valor, no produto.

3.2 *Progresso técnico incorporado e viés tecnológico*

Este item procura fazer a ponte entre as medidas de viés apresentadas no item anterior e o item 3.3, responsável pela reunião dos conceitos e formulações tratados até aqui para então apresentar o mecanismo de indução de inovações proposto pela Teoria da Inovação Induzida. Para tanto, apresentamos como as funções de produção devem ser adequadas ao problema e qual a relação entre as medidas de viés e crescimento, ainda sem apresentar o mecanismo de indução. Inicialmente apresentar-se a medida do viés a partir de uma “família” de funções de produção que permitem relacioná-la com a mudança em seus coeficientes técnicos. Trata-se de uma alternativa bastante conhecida e operacionalmente atraente. (Capalbo & Antle (1988); Chavas, Aliber & Cox (1990), para um tratamento não-paramétrico).⁴⁷ Utilizaremos, todavia, a proposta de apresentação simplificada, feita por David (1975:39-44).⁴⁸

Define-se uma função de produção na forma geral - assumindo os pressupostos convencionais de grau de homogeneidade igual a 1, duplamente diferenciável e que o sistema está em equilíbrio - tendo como característica básica que os insumos são definidos a partir de unidades de eficiência. Isto é feito introduzindo coeficientes técnicos que permitem a conversão de “unidades naturais em unidades de eficiência”, tal como definido em: $L'(t)=L(t).a(t)$ e $K'(t)=K(t).b(t)$. Esse procedimento segue estritamente a sugestão feita por Sadoulet e de Janvry (1995), que também será utilizado no sub-item 3.2.⁴⁹

⁴⁷ Binswanger (1978:160) alerta para a dificuldade em relacionar os índices de eficiência dos fatores e aumentos de qualidade. Para um tratamento da relação entre qualidade e processo inovativo, ver Grossman e Hellman (1991) e Barro e Sala-I-Martin (1995), cap.7.

⁴⁸ David (1975) parte da crítica neoclássica de Temin (1966) à formulação Rothbarth-Habakkuk : “se um país tem uma relação terra/trabalho mais elevada que outro, tudo o mais constante, então este país usará mais – ou talvez melhor- maquinaria para cada trabalhador no setor de manufatura (grifo meu) que o outro país”. Fica claro que se trata de uma discussão a partir de um modelo a dois setores, que não fizemos até o presente momento. Entretanto, a formulação teórica de David (1975) não difere significativamente da de Binswanger (1978), com a vantagem de introduzir a questão da diferença entre taxa e direção do progresso técnico induzido, ponto de destaque em nossa discussão em vários itens, especialmente o3.3.3 .

⁴⁹ Além da forma típica de apresentar os índices de eficiência em uma função de coeficientes fixos, do tipo Leontief, que permite vincular os efeitos do processo inovativo ao um tipo determinado de fator, pode-se re-especificar a função Cobb-Douglas para apresentar os casos extremos de processo inovativo incorporado. Por exemplo: $Q = e^{\lambda t} L^{\alpha} K^{1-\alpha}$ definiria um processo neutro de mudança tecnológica. Um processo “*labor augmenting*” puro seria

Supondo-se que o sistema está em equilíbrio e utilizando-se a propriedade dos logaritmos, tal como fizemos para chegar, por exemplo, em (3.5), obtemos uma nova expressão para a elasticidade de substituição, posta agora em função da taxa de variação dos índices de eficiência a e b . Chamemos de λ_K e λ_L as taxas de variação dos índices de eficiência respectivamente do capital e do trabalho. Chegamos assim a uma redefinição da elasticidade de substituição:

$$\sigma = \frac{(g_K + \lambda_K) - (g_L + \lambda_L)}{(g_w - \lambda_L) - (g_r - \lambda_K)} \quad (3.14)$$

em que λ não mais se refere ao “resíduo tecnológico” definido na expressão (3.1), mas está diretamente associado à contribuição de cada fator para o ganho de eficiência do produto. Para melhor compreender a modificação realizada, compare (3.14) à expressão (3.3). Fazendo algumas manipulações algébricas obtemos:

$$(g_K - g_L) = \frac{\sigma}{1 - \sigma} (g_{\theta_L} - g_{\theta_K}) + (\lambda_L - \lambda_K) \quad (3.15)$$

em que θ_L e θ_K representam as elasticidades de oferta dos insumos (que em equilíbrio significam também as participações em valor dos insumos no produto). A taxa de variação de θ_i , $i=L,K$, linearizada, é função de $g_w + (g_L - g_y)$ e $g_r + (g_K - g_y)$.⁵⁰

A interpretação não é muito diferente da já realizada para a expressão residual do progresso técnico. Chamando $\lambda_L - \lambda_K$ de β_{VHI} tem-se a medida do viés diretamente relacionada aos parâmetros de eficiência de cada um dos fatores.⁵¹ A linearização realizada na fórmula da elasticidade de substituição permite expressar o diferencial de crescimento do capital e do trabalho em função de dois parâmetros, σ e β , o que complementa a análise apresentada até aqui e permite recolocar os problemas de sua estimação simultânea e reafirmar as limitações da solução proposta por Diamond-McFadden-Rodriguez.

dado por $Q = (e^{\lambda/\alpha} L)^\alpha K^{1-\alpha}$. Seria possível obter-se um número infinito de combinações entre os 3 tipos básicos.

Utilizaremos medidas em unidades de eficiência intensamente a partir do capítulo 6.

⁵⁰ Para obter a expressão (27) basta adicionar $-\sigma(K-L)$ em ambos os lados de (3.14) e com o uso das fórmulas linearizadas encontrar a expressão de θ_L e θ_K .

⁵¹ Ver as fórmulas (3.4) e (3.5) para uma comparação entre VHI e β_{VHI} . O paralelismo com o que foi desenvolvido acima é total. Deixamos para apresentar este desenvolvimento aqui por introduzir os coeficientes necessários para entender as variáveis envolvidas na definição da Fronteira de Possibilidades de Inovação, que é a “espinha dorsal” da TII em sua versão macroeconômica.

3.3 Fronteira de Possibilidades de Inovação (FPI) e viés

3.3.1 O mecanismo da indução tecnológica e o viés relativo

Até este ponto o processo inovativo apareceu “embutido” em uma noção difusa de capital que se acumula, tal como nos modelos *AK*, ou como algo que pode ser mensurado, melhor dizendo, ter seus efeitos mensurados, mas cuja explicação não está fundada nas motivações econômicas que levam os agentes a inovar- o que poderia ser até coerente com um tratamento tipicamente macroeconômico. O interessante é que, nas análises, as duas visões são contrapostas, o que fica evidente na crítica de Stern (1996) aos modelos *AK* e na defesa da TII.⁵²

Todavia, a Teoria da Inovação Induzida, ao se afastar, na visão de Stern, dos modelos *AK*, não pode ser confundida com a simples mensuração ou identificação da presença de viés nas economias, em setores ou segmentos dela. A inovação pode causar viés e gerar processos de diferentes naturezas. Tanto a caracterização dos requerimentos para o crescimento balanceado quanto a apresentação das diferentes definições de “viés” e a relação entre os dois não explicariam sozinhas a idéia de inovação induzida. É claro que a característica assintótica dos modelos mostra que um maior nível de k conduziria a uma redução do efeito da inovação que causa um viés poupador. A convergência assintótica dos modelos mostra que um maior nível de k conduziria a uma redução, β_{VHI} e k seriam negativamente correlacionados quando $\beta > 0$. Por outro lado, a solução poupadora de trabalho seria indicadora de que simples mecanismos de retroalimentação via expansão do uso de capital exigiria mais da TII que um conjunto de métodos de mensuração de viés e seu confronto com evidências escassez de certos fatores também identificadas historicamente.⁵³ A análise a seguir prepara a apresentação de uma primeira formulação para explicar como relacionar viés e indução tecnológica em um modelo explicativo do processo de geração de inovações.

A apresentação feita no item 3.2 mostrou a importância de articular forma e conteúdo quando se procura passar dos conceitos para formas concretas de mensuração de efeitos a eles

⁵² Alguns exemplos de textos que claramente aderiam à visão que chamamos de “fundamentalismo do capital”, mesmo antes da difusão dos modelos de tipo *AK* e que criticam explicitamente a TII são dados por Mundlak (2000).

⁵³ Lembramos o caso paradigmático de comparação Japão-EUA no que tange à modalidades de inovação para a agricultura (poupadora de terra no primeiro e de trabalho no segundo). Fica claro que a suposta “escassez de trabalho” no caso americano está em grande parte relacionada a simples oportunidades de incrementar enormemente a relação capital/produto visando ocupar as fronteiras agrícolas disponíveis.

correspondentes. A forma *factor augmenting* de apresentação dos vieses será fundamental para a análise microeconômica, mas também é a forma mais adequada para relacionar crescimento balanceado e a presença de viés, quando se introduz o conceito de Fronteira de Possibilidades de Inovação. Uma forma de apresentar a TII é partir, como em Samuelson (1965), da fórmula que dá o aumento da eficiência originada de melhorias nos índices correspondentes do capital e do trabalho.

Considerando uma situação de curto prazo, pode-se dizer que:

$$\lambda = \theta_L \lambda_L + \theta_K \lambda_K \quad (3.16)$$

representa a contribuição de cada fator ponderada por sua participação relativa no produto total. O problema então é o de estabelecer uma fronteira de possibilidades de inovação (FPI)⁵⁴, definida no curto prazo, que para cada situação (país, região, indústria) depende das características do processo inovativo, das dotações e habilidades condensadas nas capacidades em aumentar a eficiência dos fatores.⁵⁵

Como enfatiza Samuelson (1966), sua forma independe do conhecimento anterior, por parte dos agentes, dos parâmetros representados por θ_i na expressão (3.16). A importância dessa restrição e as conseqüências de relaxar a hipótese de sua aceitação ficarão claras no capítulo 4, relacionado ao modelo microeconômico.

Essa fronteira pode ser obtida facilmente como um problema de maximização de λ restrita pela própria FPI⁵⁶: Tem-se o seguinte problema de maximização restringida:

$$\begin{aligned} \text{max } & \theta_L \lambda_L + \theta_K \lambda_K \\ \text{sujeito a } & H(\lambda_K) - \lambda_L = 0 \end{aligned} \quad (3.17)$$

⁵⁴ Para uma explicação detalhada, sugere-se, além de Samuelson, consultar Binswanger (1978:34-38), David (1975:45-50) e Gomulka (1990:142-45).

⁵⁵ É fundamental mostrar como tal concepção, sendo de curto prazo –trabalha-se com inovação “Hicksiana”– e baseada no aumento dos índices de eficiência dos fatores, deixa de lado as inovações radicais, ponto enfatizado por Salter (1966), mas repetido por críticos posteriores como Romeiro e Salles-Filho (1999). Como mostram Binswanger e também David (1975), tal observação de Salter deriva-se de sua radical distinção entre mudança tecnológica e mudança técnica, o que não coincide com a distinção adotada em nosso trabalho.

⁵⁶ Binswanger (1978:32-35) deriva a FPI a partir da minimização de custo propiciada pelos aumentos observados nos índices de eficiência de cada fator, dados os preços relativos. Tal metodologia tem importância na análise microeconômica desenvolvida no item 0.

Os parâmetros θ_i representam, como vimos, a participação em valor do fator no produto, enquanto que $H(\lambda_K)$ exprime a restrição e apresenta as seguintes características quando se assume a concavidade da FPI: $H' < 0$ e $H'' > 0$, que são condições bastante conhecidas.

O problema pode ser resolvido pela obtenção das condições de primeira ordem do Lagrangeano $L(\lambda_K, \lambda_L, \mu) = \theta_L \lambda_L + \theta_K \lambda_K - \mu(H(\lambda_K) - \lambda_L)$, que resulta em:

$$(d\{\lambda_L\})\theta_L = -(d\{\lambda_K\})\theta_K \quad (3.18)$$

ou seja, as condições de primeira ordem mostram que o vetor-velocidade em cada ponto da FPI é dado pela relação entre as participações dos fatores.

Vê-se claramente que a FPI é uma adaptação do instrumental estático - a cada momento no tempo estão definidas as características tecnológicas que dão a forma da função - utilizado para a obtenção de uma superfície de possibilidades de produção para um caso em que as limitações para o aumento da eficiência global são dadas pelas possibilidades de combinação dos índices de eficiência associados a cada fator.

Uma questão pode ser proposta para as próximas páginas: tomar como dados os θ_i , não é justamente desconsiderar a existência de viés? Até o item anterior, os vieses eram medidos considerando o progresso técnico como exógeno. Só o desenho da FPI seria suficiente para inverter a relação e, dados os parâmetros, obter o sentido do progresso técnico? Como resultado, o progresso técnico, atuando segundo a(s) elasticidade(s) de substituição, determinaria o valor dos viés, segundo as diferentes fórmulas apresentadas anteriormente.

Aceitando-se a existência da FPI é possível desenvolver os argumentos que levam ao **mecanismo da indução tecnológica**, que é o cerne da TII. Para tanto parte-se de um artifício, definindo-se uma função $F(\cdot)$, que possa ser invertida: $F(\lambda_K / H(\lambda_K)) \equiv F(\lambda_K / \lambda_L)$ definida no ponto de ótimo. Com base na expressão (3.18), tem-se que

$$\frac{-d(\lambda_L)}{d(\lambda_K)} = F(\lambda_K / \lambda_L) \quad (3.19)$$

e $F'(\cdot) > 0$, em função da concavidade de $H(\cdot)$

Podemos então ver a razão do artifício adotado (David,1975:47). Considere-se uma função inversa $G(.) \equiv F^{-1}$, que nos permitirá, tomando novamente a fórmula (3.18), chegar a uma expressão que utiliza as participações dos fatores como argumentos, ou seja:

$$\lambda_L/\lambda_K = G([d\lambda_L/d\lambda_K]) = G(\theta_K/\theta_L) \quad (3.20)$$

sendo que $G'(>0)$. A equação (3.20) permite relacionar a mudança na participação dos fatores aos índices de eficiência a eles associados.

Para vincular estes efeitos às medidas de viés, vamos partir da fórmula do viés *Hicksiano* como foi expressa no segundo termo em (3.15) e que chamamos de $\beta_{VHI} = \lambda_L - \lambda_K$, para obter uma medida de viés que é afetada pela mudança da relação entre participação dos fatores, que é o próprio mecanismo de indução tomado a partir da FPI. Dividindo-se ambos os lados por λ_L chega-se a uma nova expressão do viés, que David (1975:43) chamou de viés relativo e cujo sentido dependerá de entendermos, mais à frente, a questão de certos fatos estilizados do crescimento que foram focalizados em vários debates nos últimos 40 anos. Define-se o viés relativo como

$$B_{VHI} = 1 - (\lambda_K/\lambda_L)^{57} \quad (3.21)$$

Após algumas transformações algébricas que combinam (3.20) e (3.21), pode-se obter a expressão da variação do viés (relativo) em função da variação da relação entre a participação dos fatores, que é dada por⁵⁸:

$$\frac{dB}{d(\theta_K/\theta_L)} = \frac{dB}{d(1-B)} \{G'(\theta_K/\theta_L)\} \leq 0 \quad (3.22)$$

O viés relativo B varia inversamente com a variação da relação entre os parâmetros de participação dos fatores no produto. Um aumento da relação entre a participação do capital em relação à participação do trabalho induziria um viés relativo negativo, ou seja, poupador de

⁵⁷ Explicaremos as diferenças entre o viés absoluto e relativo depois de finalizar a demonstração de como a variação nas participações relativas dos fatores induz a atividade inovativa, uma vez definida uma FPI.

⁵⁸ Para simplificar, chamaremos B_{VHI} de B . É fácil perceber que usando (3.21) tem-se $\frac{d(1-B)}{d(\theta_K/\theta_L)} = G'(\theta_K/\theta_L)$ que é <0 .

capital no sentido *Hicksiano*⁵⁹ **O mecanismo de indução tecnológica estaria assim definido de forma precisa.** Todavia, este não ficou definido diretamente a partir da medida do viés absoluto, mas sim do viés relativo, o que nos sugere investigar melhor cada uma delas e sua relação.

Começemos pelo viés relativo. A introdução deste conceito corresponde à distinção entre a taxa e a direção do processo inovativo. Um país que mantenha tanto atividades poupadoras de trabalho como de capital tem uma intensa atividade inovadora e assim mesmo um reduzido viés. Outro país, tendo forte atividade poupadora de trabalho, teria um grande viés absoluto. A introdução do conceito de viés relativo corrigiria essa distorção interpretativa, assumindo que os dois países estariam sob diferentes FPI's.

A taxa, medida pelo viés absoluto, que passamos a chamar de β_{VHI} , indicaria que se este fosse mantido e não atenuasse os fatores que o determinam - entre eles, a própria relação na participação de fatores, que como vemos na expressão (3.22), dependendo da elasticidade de substituição, seria alterada pela atividade inovadora de natureza viesada, teríamos um tipo de trajetória, por exemplo, *Harrod-neutra* no caso do viés positivo e a elasticidade de substituição menor que 1. (ver a Tabela 1, no item 3.3.2).

Já o viés relativo estaria indicando, por exemplo, a relevância do viés em relação à atividade de poupar o fator primário, “não-reprodutível”. Captaria inclusive até que ponto uma economia mais madura teria alguns segmentos fortemente viesados que estariam contribuindo para o viés absoluto e outros setores que, a despeito do esforço inovador nos dois sentidos, os manteriam relativamente neutros, tornando o viés relativo bem menos importante.

A importância da medida do viés relativo para a análise macroeconômica está no fato de que, por exemplo, um país “a” que apresente um viés absoluto maior que um país “b”, a saber,

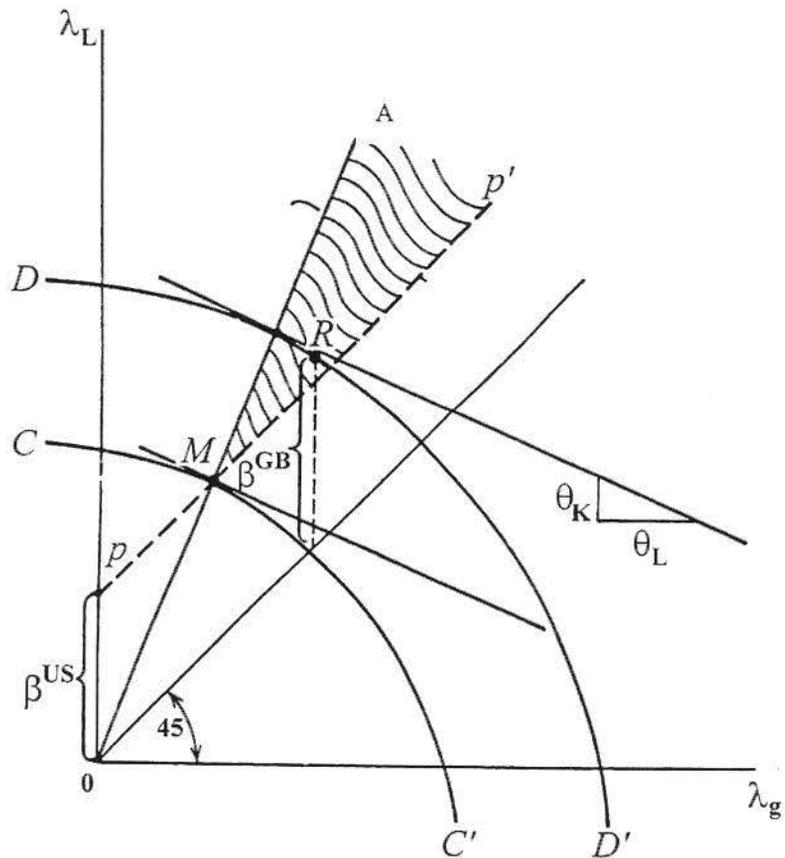
que $\beta_{VHI_a} > \beta_{VHI_b}$, não necessariamente tem um esforço poupador (tecnológico) medido pelo ganho de eficiência nas atividades relacionadas à produtividade do trabalho maior que o do país b, ou seja, $\lambda_{La} > \lambda_{Lb}$, **a não ser que os dois países encontrem-se restritos pela mesma FPI**, o que seria uma suposição muito forte.

⁵⁹ Sugere-se uma comparação de (3.22) com (3.7). Nessa última a relação causal é inversa à da primeira. Essa diferença tem relevância do ponto de vista econométrico, principalmente quando os dados são uma série de tempo, como no caso dos modelos macroeconômicos. Para o sentido da relação de causalidade e dos diferentes tipos de exogeneidade em econometria ver Hendry (1995).

A Figura 3.2 ilustra a FPI e as dificuldades para comparar duas situações caso não se suponha que ela seja abrangente, ou seja, que seja a mesma para os dois casos. Esta limitação não é apenas quanto ao tratamento gráfico. Caso os dois países tivessem FPI distintas, a seguinte seqüência permitiria uma localização “grosso modo” da localização de um (visitante) na fronteira de outro. Primeiro, caberia lembrar que para cada país, $\lambda_L / \lambda_K = \frac{1}{1 - B}$, o que determinaria um raio (uma linha de avanço) com esta inclinação no gráfico do FPI do país de referência. Em seguida, plotando-se o viés do país de referência no eixo das ordenadas, ter-se-ia, partindo deste ponto, a linha de 45° de inclinação, PP', que indicaria um dos limites para a relação entre as medidas de viés entre os dois países: o limite em que o viés absoluto do país de referência não poderia ser maior que o do país visitante.

Então, a faixa formada entre OA e PP' na Figura 3.2 seria o lugar geométrico dos possíveis valores de B para o país visitante. Resumindo, esta faixa estaria definida para $B_{ref} > B_{vis}$ e $\beta_{vis} > \beta_{ref}$. Caso ocorresse o inverso, o país visitante teria que estar à esquerda de OA, mas a condição de ter um viés absoluto menor que o do país de referência significaria que o nível de progresso técnico dado por λ estaria abaixo de CC', ou seja, no triângulo OPM. Indicaria uma situação em que a composição estaria predominando sobre a taxa determinante do viés. Caso o viés relativo e o viés o absoluto fossem maiores para o país de referência não seria possível localizar o país visitante na Figura 3.2.

Figura 3.2. Fronteira de Possibilidades de Inovação-FPI e Viés Relativo



Fonte: Apud David (1975)

3.3.2 Fronteira de Possibilidades de Inovação e crescimento balanceado

Resta juntar a FPI ao modelo que descreva o crescimento balanceado. Para tanto, partimos da constatação de que entre FPI e crescimento balanceado haveria uma dupla relação causal envolvida:

a) A existência da FPI condicionaria a trajetória de crescimento, assim como o efeito dos vieses sobre as relações de produtividade dos fatores levaria a uma perda progressiva do impulso inovador. A um baixo nível da relação capital/trabalho (k) corresponderia um efeito da inovação poupadora de trabalho no sentido da maior utilização de capital e elevação do nível de k . Um viés poupador de capital teria um efeito de elevar o nível da relação representada por k . Nos dois casos o processo convergiria assintoticamente para um nível k correspondente a um viés neutro. A idéia desta convergência estaria fundada no efeito decrescente da inovação exógena em qualquer de suas modalidades;

b) Assumindo-se o *trade off* imposto pela FPI, a relação entre a participação dos fatores determinaria instantaneamente uma alocação de esforço tecnológico ótimo (maior eficiência, levando a menor custo) e um certo tipo de viés. O crescimento balanceado e a FPI dariam um sentido macroeconômico ao conceito de viés (Wan, 1965);⁶⁰

c) Todavia, se a vantagem da formulação em termos da FPI em relação ao modelo com convergência assintótica estaria no sentido econômico dado ao processo de inovação, a endogeneização do progresso técnico, isto não implicaria supor que o processo inovador altera a forma da FPI?

Estaria posta aí a dupla relação da causalidade. Entretanto, por ser a FPI definida no curto prazo e a partir de fatores exógenos, assim como as forças do crescimento econômico⁶¹, a relação entre FPI e o crescimento balanceado exigiria uma explicação adicional. Como afirma Gomulka (1990:143), “a economia estaria evoluindo segundo uma trajetória de crescimento em que o viés inovativo estaria mudando”. Para orientar melhor o entendimento do papel da FPI e de sua relação com crescimento balanceado, apresentamos a Tabela 1, que faz uma sinopse dos tipos de relações esperadas segundo os valores dos parâmetros estimados na forma reduzida apresentada em (3.15).

Os resultados apresentados, de início, são definidos pelo efeito da presença de viés sobre a taxa decomposta de crescimento e não no pressuposto de existência da FPI. Vamos colocar nossa atenção no primeiro item, em que se combina uma elasticidade de substituição menor que 1 com um viés poupador de trabalho positivo. É possível mostrar que, mesmo concebendo o viés como exógeno e não como sendo induzido, chega-se a um resultado semelhante ao que é obtido quando se estabelece uma Fronteira de Possibilidades de Inovação (FPI).

Assumindo as condições de um crescimento balanceado em um economia de um setor e que em elevados níveis de agregação os efeitos particulares de substituição de um insumo por outro são compensados, (Gomulka, 1990:129) acarretando uma certa estabilidade na participação

⁶⁰ A saber: i) as quantidades de todos os produtos e insumos reprodutíveis crescem a uma porcentagem comum entre eles e constante; ii) os bens não reprodutíveis expandem-se a uma taxa constante, mas insumo-específica; iii) as relações input/output mantêm-se constantes em termos de valor. Também, considera-se um período finito.

⁶¹ No item 2.1.3, a partir do modelo Solow, mostrou-se que o crescimento só pode ser determinado de forma sustentável por forças exógenas relacionadas ao processo inovativo e que existem claras indicações de que a tentativa de endogeneização do processo inovativo com base na FPI não é compatível com a visão “fundamentalista” do capital.

em valor dos insumos no produto, podem ser reproduzidas condições semelhantes às já tratadas pelos modelos Solow-Swan e Lucas.

Tabela 1. Efeitos do Processo Inovativo segundo a elasticidade de substituição (σ) e o diferencial entre as taxas de crescimento dos índices de eficiência do trabalho e capital (β)

Efeito/parâmetro	elastici cida de	$\beta=(\lambda_L - \lambda_K)$	Mecanismo explicativo/trajetória esperada
Hicks poupador de trabalho-caso clássico, compatível com uma trajetória Harrod-neutra	$\sigma < 1$	$\beta > 0$ - poupador de trabalho	Na forma pura é compatível com uma trajetória Harrod-neutra: v constante. A inovação permite superar a dificuldade criada pela pressão originada pelo regime de altos salários. Todavia, o efeito do processo inovador deprime a relação de produtividade marginal do trabalho em relação à do capital, ou seja, o efeito perde força ao longo da trajetória.
Hicks poupador de capital	$\sigma < 1$	$\beta < 0$	O inverso do anterior. Entretanto, de pequena relevância, exceto quando o desafio for incluir a terra como fator não reproduzível (que é o desafio citado por Metcalfe, 1997).
Hicks-utilizador de trabalho- hipótese de acordo com evidências de Fellner (1971)	$\sigma > 1$	$\beta > 0$	Como o trabalho é facilmente substituível pelo capital, um aumento dos salários(do choque de produtividade) levaria a um ajuste pelo efeito substituição. Todavia o efeito produtividade levaria a um saldo líquido a favor de maior uso do trabalho.

Fonte: elaborado pelo autor

Partindo-se de uma função de produção agregada e assumindo que a participação do investimento na renda é igual a s , a taxa de poupança, e que $g_L = n$ (ver a explicação para tal suposição em Aghion e Howitt, 1998:19), - ambos tomados como constante, como vimos em 3.1.2- obtém-se a expressão *Harrodiana* que fornece a decomposição da taxa de crescimento do produto *per capita*. O significado de α , o componente relativo ao progresso técnico já foi interpretado 3.1.1. Adicionamos a observação de que o parâmetro q é o correspondente

Harrodiano para v do parâmetro π para k no modelo *Hicksiano*.⁶² A taxa de poupança pode ser algebricamente igualada à decomposição da participação do investimento no produto, $I/Y = g_y v + \partial v / \partial t$, que corresponde, no equilíbrio, a

$$s = v(g_y + n) + \partial v / \partial t \quad (3.23)$$

Considerando que v e g_y são constantes no crescimento balanceado, assim como n , a observação conjunta das expressões (3.2) e (3.23) permite obter a relação entre processo de inovação *Harrodiano* e viés ao longo do tipo de trajetória delimitada. Vimos que o conceito de trajetória *Harrod-neutral* supõe independência entre α e v . Segundo Gomulka (1990:129), dado $v=v^*$, o viés tecnológico não precisa ser *Harrod-neutral*, ou seja, pode existir um viés compatível com uma relação K/Y constante ao longo da trajetória. Basta que, para o horizonte de tempo em que a trajetória seja considerada, $v^* = s / \{ \alpha(v^*, t) + n \}$, implicando que $\alpha(v^*, t)$ seja independente do tempo para a faixa correspondente de v , mas não propriamente independente de v^* . A trajetória *Harrod-neutral* seria pois um caso particular.

Ocorre que, na presença de viés, pela definição dada em (3.10), os lucros não mais estariam estáveis ao longo de trajetória. Para manter constante, no crescimento balanceado, a participação em valor dos insumos no produto, uma restrição bastante forte teria que ser adicionada àquelas apresentadas acima: o viés tecnológico teria que ser tal que $\alpha(v^*, t)$ fosse realmente independente do tempo, o que caracterizaria um progresso tipicamente *labor saving*.

A apresentação acima foi baseada diretamente em variáveis obtidas a partir da relação entre fatores. E demonstrou como o pressuposto de crescimento balanceado, na situação de elasticidade de substituição menor que 1, levaria a um crescimento viesado puramente poupador do fator trabalho. Para avançar, ao invés de assumirmos um resultado do processo, a partir de certos valores dos parâmetros de interesse, passamos à seguinte questão formulada por Gomulka (1990:143): "a economia estaria evoluindo segundo uma trajetória de crescimento em que o viés inovativo estaria mudando, mas em que direção e com que final?"

Para responder a esta questão, é preciso apresentar os pressupostos envolvidos nesta formulação: a) os preços relativos dos fatores são dados; b) as inovações afetam apenas os

⁶² Atenção para o fato que y significa Y/L , e que v é igual a K/Y .

processos redutores de custo; c) $g_L=n$, ou seja, a taxa de crescimento do fator trabalho é igual à taxa de crescimento populacional e esta é considerada constante; d) $\frac{\partial K/\partial t}{Y} = s$, que é uma condição de equilíbrio.⁶³

A taxa de crescimento da parcela do fator capital no produto - o que, segundo a expressão (3.12), é uma caracterização do viés - é composta de duas partes: uma relativa ao efeito substituição, uma vez que se o preço do capital sobe, há um efeito substituição esperado e outra, o viés inovativo. O ponto de partida, ainda segundo Gomulka (1990:144) seria então⁶⁴:

$$g_{\theta_K} = (\theta_L) \frac{\sigma-1}{\sigma} (g_K + \lambda_L - n - \lambda_K) \quad (3.24)$$

que, com pequena modificação algébrica, dá equação diferencial que capta o crescimento da participação do capital no produto não só pelo efeito da intensificação de seu uso, mas pelo viés inovativo.

Utilizando a condição de equilíbrio apresentada acima, $g_K=s/v$, decompondo taxa de crescimento da relação capital /produto em $g_v = g_K - g_Y$ e reunindo os termos semelhantes (sugere-se voltar a (3.23)), tem-se:

$$g_v = (\theta_L) (s/v + \lambda_K - n - \lambda_L) - \lambda_K \quad (3.25)$$

que, com uma pequena mudança, fornece a equação diferencial que permite obter a dinâmica de v , ou seja, da relação capital/produto a partir de uma trajetória dirigida pelos fatores que determinam o viés tecnológico (note que s e n são constantes, por hipótese). Estamos obviamente ampliando o escopo do que discutimos a partir da Tabela 1, em que o tipo de crescimento estava definido pelos parâmetros de interesse σ e β . Agora o central é a dinâmica de v . Simplificando,

⁶³ As hipóteses acima são restritivas e visam a estabelecer uma condição de medida do efeito da inovação sobre a trajetória de crescimento. A um efeito do processo inovativo que tire a economia de um estado estacionário "A" qualquer corresponde também uma maior ou menor incorporação de fatores primários (tidos como não-reprodutíveis pela literatura em questão; ver Gomulka, 1990) e de uma certa taxa de poupança, que co-determinam o novo estado estacionário alcançado. Somente restringindo o comportamento destas variáveis pode-se medir o efeito do processo inovativo.

⁶⁴ É fácil notar que sendo $VHI = (\sigma - 1)(\lambda_L - \lambda_K)$ (Binswanger, 1978:43), pode-se expressar (3.24) pelos efeitos substituição e viés como $g_{\theta_K} = \frac{\theta_L}{\sigma} [(\sigma - 1)(g_K - n) + VHI]$, que corresponderia ao efeito total da variação da parcela do capital no produto no tempo (ver(3.7) e(3.8) para os efeitos parciais).

teríamos $g_v = \frac{\theta_L s}{v} - \lambda$ que deixaria claro existir, como mostram Binswanger (1978) e Stoneman (1984), um valor v^* para o qual v estaria aumentando se fosse menor que v^* e diminuindo caso fosse maior que ele (que poderia ser descrito por um diagrama de fase, portanto).

Para $g_v=0$,

$$s/v^* + \lambda_K - n - \lambda_L = \frac{\lambda_K}{\theta_L} \quad (3.26)$$

que pode ser simplificado para $\frac{\theta_K}{\theta_L} \lambda_K = g_k - \lambda_L$

Por curiosidade, pode-se observar que, nas condições apresentadas, quando $\lambda_K=0$, - o progresso tecnológico determinado apenas pela produtividade do trabalho - λ_L determinaria a taxa de crescimento da relação K/L. Nas condições de uma trajetória *Harrod-neutra*, (na vizinhança de $v^*(t)$ em que aproximadamente $g_v=0$ e n constante), combinando-se ((3.24) e (3.26) chega-se a

$$g_{\theta_K} = \frac{\sigma - 1}{\sigma} \lambda_K \quad (3.27)$$

Com (3.27) pode-se perceber que quando a elasticidade de substituição for igual à unidade, tem-se uma trajetória neutra, em que a participação do capital no produto independe da taxa de aumento da produtividade do capital. Quando a elasticidade fosse menor que 1, teríamos um aumento da participação do trabalho no valor, o que, dado (3.16), levaria a uma **indução do progresso técnico** na direção de λ_L . **Tal processo seria globalmente estável apenas quando o progresso técnico tornar-se totalmente poupador de trabalho. (Drandakis e Phelps, 1966). Isto confirmaria a análise feita acima, a partir da Tabela 1 e teria como evidência empírica a relativa estabilidade da participação do capital no produto ao longo da trajetória de crescimento das economias mais importantes.**⁶⁵

⁶⁵ Como mostra Gomulka (1990:135), mesmo em condições restritivas de $g_v=0$, não necessariamente a trajetória seria *Harrod-neutra*, ou seja, em que a taxa λ/θ_L é constante e/ou independente de v , mas a participação do capital

Para um modelo com n setores, a interpretação da relação entre uma trajetória de crescimento e uma fronteira definida no hiperespaço das taxas de crescimento da produtividade dos fatores exigiria a imposição de condições restritivas que revelariam ainda mais as limitações do enfoque. Por exemplo, uma trajetória multisetorial *Harrod-Kennedy* (Rymes, 1973) depende de manter constante a participação de cada insumo no produto, o capital utilizado para a produção de um bem em um determinado setor na produção total do bem e a proporção do uso de um fator primário em cada setor no total de recursos primários disponíveis.

Com isto, um processo inovativo definido setorialmente pode gerar uma trajetória *Kennedy-neutra* sem que as taxas de crescimento dos insumos e dos produtos tenham que se manter constantes (portanto, não se trata de um crescimento balanceado). Assim, o problema do crescimento equilibrado e a relevância do viés tecnológico passam a fazer parte da discussão dos índices de produtividade dos fatores e dos problemas de agregação, no qual admite-se que as medidas obtidas têm apenas que atender a certos critérios gerais para representar adequadamente as mudanças nas funções a que estão relacionadas.⁶⁶

Que conclusões, ainda que parciais, poderíamos tirar dessas dificuldades teóricas? Assumindo que a FPI é bem definida a cada instante, chegou-se à conclusão de que o mecanismo de indução confrontado a uma trajetória de crescimento somente geraria uma trajetória estável quando, dada a elasticidade de substituição menor que 1, o progresso técnico fosse puramente poupador de trabalho. Nestas condições a idéia de progresso técnico viesado estaria diretamente relacionada aos fatos estilizados que relacionam a “pressão do fator não-reprodutível trabalho” a um certo atrito para sua substituição pelo capital, facilitado pela inovação poupadora deste fator. Fica então bem definida a concepção de viés representada pela expressão (3.15), de que o viés pode ser expresso diretamente pela variação da participação de um fator no produto e tem-se uma explicação sólida para a estabilidade da participação agregada do capital no produto.

no produto de equilíbrio tende a ser constante quando a progresso técnico é *H-neutro*. Tal discussão está tratada de forma um pouco distinta em David (1975).

⁶⁶ Isto é expresso através da qualificação dos índices de superlativos e exatos para aquelas características de mudança das funções que estão representando. Por exemplo, um excesso de variação em quantidade do produto sobre os fatores primários pode ser captado como uma mudança tecnológica que poderia ser representada através de uma função de produção. A discussão centra-se então em quais índices cumprem os requisitos necessários para uma aproximação adequada. (ver Antle e Capalbo, 1988).

Fora desse cenário restrito, a FPI estaria limitada a ser um instrumento de curto prazo que suporia um agente maximizador a cada instante, sem que um processo de coordenação determinado pela trajetória de crescimento ficasse claramente explicitado. Como uma teoria que visa a explicar através de processo de geração endógeno de progresso técnico certos fatos estilizados do capitalismo, como a estabilidade da participação em valor dos fatores, tomados de forma agregada, no produto, poderia estar baseada em uma mecanismo de curto prazo.?

A idéia de que a modalidade de progresso técnico é tão mais eficiente e com impacto mais significativo na economia quanto mais atue sobre os segmentos que mais contribuem para aumentar a participação de um fator no produto parece ser muito mais útil para justificar a TII que a suposição da existência da FPI. Esta idéia será central na formulação microeconômica da TII e compatível com o conceito de Fronteira de Possibilidades Históricas que apresentaremos a seguir.

3.3.3 A Fronteira de Possibilidades Históricas de Inovação (IPC) como resposta às críticas a FPI

Uma alternativa às limitações da FPI foi dada pela proposição de Ahmad (1966), que se tornou um dos pilares das TII. Trata-se de uma solução “gráfica” e centra-se na idéia de meta-função de produção. Esta formulação não tem o rigor teórico das anteriores, o que obviamente dificulta sua transposição para os modelos econométricos, isto é, como base para a formulação de testes empíricos, e abre espaço para uma concepção apenas intuitiva da TII.

Parte-se da suposição da existência de uma “meta-função de produção”, podendo representar, a “curva envelope”⁶⁷ de todas as FPI dos países e no tempo, o que englobaria não somente uma “antevisão perfeita” das possibilidades de inovação, mas tomaria as condições para difusão tecnológica e convergência de rendas (que pode ser condicional, como apontam Barro & Sala-I-Martin, 1995) como conhecidas.

Deu-se a este conceito o nome de “Curva Histórica de Possibilidades de Inovação -IPC” e sua definição foi formulada por Hayami & Ruttan (1985), para quem a IPC é a curva que envolve as isoquantas unitárias definidas pelo subconjunto de processos potenciais que poderia

⁶⁷ Mantivemos o termo, que é um galicismo, entre “aspas” por fazer parte do jargão dos economistas. o correto seria “curva abrangente”.

desenvolver um empresário e que estão determinados pelo desenvolvimento do conhecimento em área de ciência e tecnologia e pelo orçamento destinado para atividades de P&D.

À primeira vista, o conceito de IPC assemelha-se ao de trajetória tecnológica, formulado pelos autores “neoschumpeterianos” (Dosi, 1988). Sua abrangência seria determinada por certos atributos do processo inovativo. O conhecimento da forma da IPC seria então inserido pelos agentes na definição das rotinas de produção, investimento e pesquisa de cada empresa. A importância e a estabilidade da IPC permitiria a identificação de seu impacto no crescimento da economia.

Todavia, esta interpretação da IPC a afasta em demasia da TII. A idéia de uma curva conhecida *ex-ante* pelos agentes das possibilidades e saltos tecnológicos futuros – e por isto mesmo, a antecipação das limitações dinâmicas impostas pelo predomínio de certo padrão tecnológico – dá lugar à idéia de que no longo prazo as limitações impostas pelo valor de σ , elasticidade de substituição, são “relaxadas”.

A IPC estaria indicando a maior flexibilidade do longo prazo e não os possíveis ganhos de produtividade/redução de custo trazidos pelos desdobramentos da trajetória tecnológica. Esta maior flexibilidade permitiria então a tomada de decisão que melhor se ajustasse à antecipação dos padrões de mudança da participação dos fatores no produto, que como mostra a equação (3.22), seria o “gatilho” do processo de indução tecnológica. Estaria assim caracterizada a IPC como “curva envelope”, de curvas com menor elasticidade de substituição, apresentando uma diferença substantiva com a idéia de trajetória tecnológica tal como definida por Nelson e Winter (1982)⁶⁸.

Abre-se um espaço para a polêmica entre IPC e FPI. A visão da dinâmica de crescimento estável (*Harrod-neutral*) baseada na FPI e no parâmetro $\sigma < 1$ encontrou no artigo de Atkinson e Stiglitz (1969) uma base de explicação bastante sólida. Este parte da observação de que se a inovação tecnológica for desenvolvida de forma localizada e no em torno das pesquisas já realizadas e selecionadas pelo mercado, isto levaria à redução da elasticidade de substituição, o que é facilmente visualizado em gráfico, como o elaborado por David (1975:59 e 63).

⁶⁸ Cabe o comentário de Varspagen (2000) sobre a historicidade que permeia a discussão sobre crescimento e desenvolvimento econômico, desautorizando as generalizações obtidas diretamente dos modelos. Isto dá uma certa

Esta observação levou à resposta de que isto seria uma confirmação dos fatos estilizados apresentados: a constância de longo prazo da participação do valor do capital no produto e a pressão salarial, que dada a elasticidade de substituição menor que 1 (ver a Tabela 1), conduziria, pelo mecanismo de indução, a um progresso técnico do tipo predominantemente “*labor augmenting*”. Esta explicação vai francamente de encontro à visão que relaciona IPC a uma maior elasticidade no longo prazo, como uma forma de representação do aumento das possibilidades originadas pelo desenvolvimento científico e tecnológico, mas está baseada em um mecanismo que é a pedra fundamental do pensamento “neoschumpeteriano” (David, 1975; Nelson e Winter, 1982; Nelson, 1998).

Esta aparente contradição entre a explicação dada para a relação entre “procura localizada” e trajetória *Harrod-neutral* compatível com a FPI e a analogia entre IPC e trajetória tecnológica só será esclarecida quando tratarmos especificamente da visão “schumpeteriana”. Fica o registro de que a comparação entre a visão “schumpeteriana” e da TII tem que considerar certas diferenças fundamentais na forma de conceber os mecanismos responsáveis pelo processo inovativo.

Cabe lembrar que, apesar de não termos tratado da visão “neoschumpeteriana” no presente trabalho, é ela que combina, em nível microeconômico, a idéia de meta-rotinas e busca local. Com certeza a IPC não procura representar o efeito transformador de produtos e processos ao longo de uma trajetória condicionada por processos localizados de busca, que estabeleceriam rotinas e meta-rotinas, sendo conformados a partir de um contínuo - incerto, mas previsível em função de sua importância estratégica no processo concorrencial, como mostra Rondé (1992)- processo de retro-alimentação com o mercado.

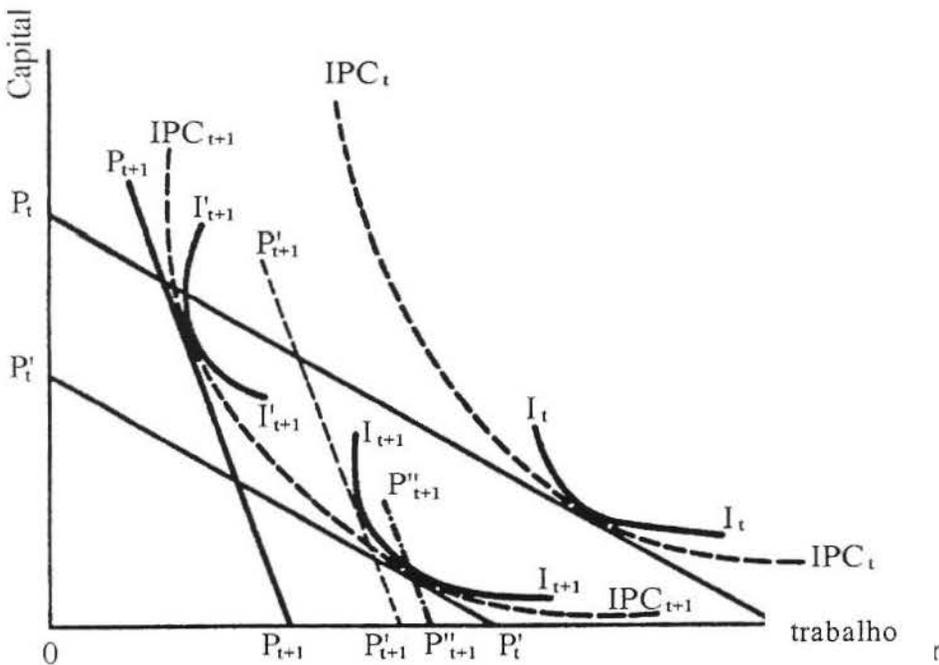
Resumindo, a questão central colocada pela IPC está na ampliação do leque de possibilidades inovativas que, sendo corretamente previstas (gerando antecipações estimadas empiricamente em até uma década, segundo Hayami e Ruttan, 1985), levaria à geração de inovações “poupadoras do fator escasso”. A apresentação do problema na forma de gráfico, como na Figura 3.3, permite evidenciar como a IPC é uma forma de apresentar um conceito supostamente de longo prazo através de estática comparativa. O que a Figura 3.3 permite intuir é

importância a modelos de caráter menos formalizado, que sendo abertos, permitem discutir casos originados sob distintos condicionantes históricos.

que no longo prazo haveria (ver Binswanger,1978:27) uma maior flexibilidade de ajuste ao mecanismo de indução: justamente o oposto do que concluem os que defendem a adequação da hipótese de inovação localizada ao modelo Drandakis-Phelps apresentado acima.

Aqui está o “nó górdio” da questão. Como mostramos anteriormente, as trajetórias *Kennedy-Harrod* e *Harrod-neutra* são bastante restritivas para o caso multi-produto. O uso macroeconômico da TII efetivamente estaria centrado na existência de um efeito compensatório quando do tratamento das variáveis de forma agregada. Nesse sentido, o processo inovador teria um efeito agregado gerador de trajetórias de crescimento equilibrado, podendo ou não, como vimos, ser *Harrod-neutras*. A IPC seria apenas uma forma bastante simplificada de postular a possibilidade de que o processo inovador mantivesse, em nível agregado, uma coerência com os tipos de trajetórias apresentadas acima.

Figura 3.3. Descrição da Fronteira das Possibilidades Históricas de Inovação- IPC



Fonte: Apud Binswanger (1978)

O uso “microeconômico” do conceito de IPC, tal como apontado por Hayami & Ruttan (1985), oito anos após a formulação modelística de Binswanger, que justamente procura ir além da “teorização implícita” que é característica desse conceito - não está baseado em nenhuma regra comportamental, sendo útil para a explicação do modelo - deixaria em aberto um dilema, de certa forma já mencionado ao longo deste trabalho.

Este apareceria na seguinte disjuntiva: a) microeconomicamente, existiriam tantas IPC quanto existissem famílias de processos inovadores. Neste sentido, o conceito seria aberto, uma forma de obter-se uma aproximação com a realidade, uma noção pouco propícia a quantificações, como os conceitos de “custo de transação” tal como em Williamson (1985), ou a noção de trajetória (cujas racionalidade é explicada em Dosi & Egidi, 1991); b) entendido macroeconomicamente, como aparece em Binswanger, seria apenas uma extensão do conceito de FPI para o longo prazo, visando a superar suas limitações por todos reconhecidas.

Binswanger (1978:27) permite evidenciar a fragilidade do programa de pesquisa da TII mesmo que não recorramos a qualquer outro instrumental teórico, nem que inadvertidamente adiramos a uma perspectiva neoclássica pura: “utilizando o gráfico proposto por Ahmad, é fácil perceber como os fatores econômicos tornam-se pouco importantes "quando a natureza ou o conhecimento tecnológico básico impõe fortes constrangimentos ao grau de escolha da tecnologia". Mais formalmente, se a elasticidade de substituição das tecnologias individuais não for muito menor que a elasticidade de substituição da IPC, o viés será quase inteiramente exógeno ao sistema econômico e seguirá muito de perto o viés causado pela IPC”. O que a IPC permitiria evidenciar seria justamente a idéia de que a principal característica do processo de geração de inovações seria criar um “leque” amplo de oportunidades tecnológicas que permitiria o sistema econômico funcionar.⁶⁹

Sem criar uma falsa expectativa de que a opção pela TII possa criar sólidos fundamentos para explicação do processo inovativo, passamos a discutir seu tratamento microeconômico, cuja principal característica é reconhecer que a FPI nunca é atingida quando os orçamentos de pesquisa são limitados, o que matematicamente (*grosso modo*) pode ter duas interpretações: a) trata-se apenas de construir um novo “Lagrangeano” considerando as restrições dos gastos de pesquisa; b) trata-se de reconhecer que a trajetória ótima de gastos de P&D pode ser determinada pela busca do melhor aproveitamento de externalidades (*spill overs* de pesquisa), o que colocaria o problema no campo ou da programação dinâmica ou da simulação.

⁶⁹Por esta razão alguns autores um pouco exageradamente apontaram a TII como sendo uma teoria de difusão tecnológica, o que efetivamente não é. Ver Silveira e Salles-Filho (1990).

4 A formulação microeconômica da TII: reformulando o mecanismo de indução tecnológica Equation Section (Next)

4.1 Questões gerais

4.1.1 A Teoria da Inovação Induzida e a microeconomia

O desenvolvimento teórico apresentado a seguir tem como perspectiva combinar uma visão de bem-estar com as hipóteses de Hicks: a) **ganharia a sociedade em deliberadamente escolher um viés tecnológico que a levasse a poupar progressivamente o fator mais escasso ?** b) uma firma privada que faz pesquisa internamente (“*in house*”) teria um incentivo em considerar os preços relativos dos fatores ao direcionar de seu esforço de inovação? (Binswanger, 1978:91).

Duas observações sobre esta perspectiva: a) ela segue a tradição neoclássica de separação entre público e privado, mas sem ainda introduzir conceitos como de não-rivalidade e exclusão (Romer, 1990b), b) ela “afunila” a análise na direção de elaborar uma teoria compatível com a mensuração do efeitos dos preços relativos sobre a direção da pesquisa.

A importância deste desenvolvimento é mostrar que os microfundamentos da TII estariam bem delineados, o que permitiria um retorno à discussão macroeconômica por meio da construção de formas estimáveis de captar o efeito dos preços. Há todavia várias formas de classificar o processo inovativo induzido.

Em primeiro lugar, coerente com a discussão feita no item 3.1.2, há a preocupação de isolar a inovação tecnológica induzida pelos preços da alocação tecnologicamente eficiente (Sadoulet & de Janvry, 1995). Aceita a existência de inovação tecnológica induzida, procura-se separar os efeitos de curto e longo prazos, o que pode ser conduzido com certa facilidade em função do desenvolvimento da econometria de séries de tempo (Peeters e Surry, 1997). Este efeito dirigido pelos preços relativos formaria, segundo Olmstead e Rhode (1993), o campo do “*change effect*”. Como fica claro em Binswanger (1978), há a preocupação de afastar-se da idéia de que o processo de inovação tecnológica corresponda a um aumento da elasticidade de substituição, ou seja, reduzir o problema a aplicação do princípio de Le Chatelier. Já no item 3.1.2 fica claro que o que está em foco é o efeito regulador do sistema de preços, pela importância relativa do custo de fatores, sobre a trajetória da IPC.

O segundo e controverso aspecto refere-se ao que Olmstead & Rhode (1993) denominaram “*level effect*”. Este efeito já aparece em David (1975) e é mencionado – sem “dar nome aos bois” – por de Janvry *et alii* (1989:356) ao lembrarem que existe um processo inovativo que pode originar-se de um “salto” no orçamento de pesquisa que crie um viés independente dos sinais dados pelos preços relativos. É controverso se este efeito é também induzido, como afirmam Peeters & Surry (1997) ou exógeno. O fato é que ele pode ser tratado como um componente a mais a ser controlado nas especificações econométricas (por exemplo, utilizando funções Symmetric Generalized McFadden, SGM.⁷⁰), mas a substantiva de sua existência não é clara.

A nosso ver, a versão do modelo microeconômico permitirá localizar este tipo de mudança no espaço criado pelas decisões de investimento em pesquisa em que os agentes não podem antecipar claramente seu efeito. Este espaço pode ser tão ou mais importante quanto a pesquisa se aproxime das pesquisas básicas (que Evenson (1988) classificou como tipo I e II, apresentado mais ao final deste item) e mais reduzido quando o orçamento de pesquisa esteja sob controle. Isto põe sérias dúvidas sobre a eficácia do mecanismo da TII, uma vez que ele passa também a depender da forma de estruturação da pesquisa, cuja importância é enfatizada por Aghion & Howitt (1998) e por David e Hall (1999).

Estando “mapeadas” as questões envolvidas e as duas hipóteses que guiarão o presente item (apresentadas no primeiro parágrafo), passamos à formulação do modelo, começando por um modelo probabilístico para o processo de inovação tecnológica.

⁷⁰ Para uma tentativa empírica de separação entre os dois tipos de efeito ver o trabalho de Peeters & Surry (1997) Para isto eles desenvolvem uma função de custo *Symmetric Generalised McFadden*- SGM (há também o desenvolvimento da função translog, que não interessa para este argumento), assemelhada à função *Leontief Modificada* que apresentamos neste item, introduzindo um termo de tendência determinística (com parâmetros específicos para os componentes de custo e produção) e principalmente dois vetores θ_i e θ_k para incluir respectivamente a participação no custo do *i*-ésimo fator e do *k*-ésimo produto. A “elasticidade de mudança dessas participações”, uma vez isolado o efeito dos preços (o *change effect*), fornece a medida do *level effect*. Os autores admitem que para duas medidas distintas propostas para medir o efeito os resultados diferem substancialmente (mantendo todavia o sinal), o que sugere que a estimação do *level effect* é muito sensível à especificação do modelo, ou seja, à estrutura em que os efeitos de indução ocorrem. Os autores explicam as mudanças verificadas no caso empírico da indústria de ração europeia, por medidas de políticas que induziram um viés pró-cereais nos componentes das rações animais utilizada pelos países da UE.

4.1.2 Um modelo probabilístico de inovação tecnológica, seu impacto e a importância da estruturação da pesquisa.

O modelo mais comum utilizado para o surgimento de inovações tecnológicas utiliza a distribuição de Poisson. Isto se deve basicamente às características desta distribuição, que pode ser expressa de duas maneiras (que podem ser convertidas uma na outra):

a) Há um tempo T necessário para o surgimento da inovação. Isto introduz uma função de distribuição de probabilidade acumulada $F(T)$, que dá a probabilidade da inovação ocorrer até aquele momento T . A partir desta distribuição acumulada obtém-se a função de densidade de probabilidade da inovação, $f(T) = F'(T) = \mu e^{-\mu T}$, que fornece a probabilidade (bastante reduzida) de que o evento (a inovação) ocorra no intervalo $(T, T+dt)$, que é $\mu e^{-\mu T} dt$. (Mittelhammer, 1996); A interpretação do parâmetro μ torna-se inequívoca: ele fornece a probabilidade do evento por unidade de tempo, quando $T=0$, ou seja, dá uma medida para a “probabilidade de fluxo do evento”(Aghion e Howitt, 1998:55).

b) Em um certo período de tempo, um certo número de inovações surgirá. Esta concepção depende da formulação anterior, uma vez que a escolha da distribuição de Poisson tem a vantagem de que a probabilidade conjunta dos eventos é muito pequena, podendo-se modelar eventos sucessivos como tendo probabilidade aditiva. Sendo μ o parâmetro que dá o número de inovações esperadas por unidade de tempo, chega-se à distribuição de probabilidade de surgimento de inovações em um certo período Ψ de tempo. Resulta na expressão bastante

conhecida da distribuição de Poisson: $g(x) = \text{prob}(x) = \frac{(\mu\Psi)^x e^{-\mu\Psi}}{x!}$.

Como se pode perceber, a distribuição tem apenas um parâmetro, que é a taxa de surgimento da inovação, só que agora em um certo período cuja definição depende do modelo que se está desenvolvendo; em alguns casos, um período definido pela unidade de tempo para o surgimento da inovação; em outros, por uma unidade de tempo pré-estabelecida. Pode-se então chamar $\mu\Psi$ de λ_p , simplificando a fórmula da distribuição. Dado que a economia tem n_i agentes inovando de forma relativamente independente, a taxa de surgimento de inovações nesta economia é de $\lambda_p n_i$. Chega-se, portanto a um parâmetro que permitirá transformar uma seqüência de inovações em um número de inovações que podem surgir em um determinado tempo a uma

taxa λ_{pi} . Quanto maior, maior o valor médio da inovação e maior a probabilidade de obtenção de valores mais elevados para x .

Evenson (1998) propõe um modelo exponencial para o tratamento do processo inovativo, muito próximo ao apresentado acima. Em primeiro lugar, considera-se que as "oportunidades tecnológicas" são definidas pelo mesmo parâmetro λ_e , a partir de um valor inicial ϑ , ou seja, da definição de que o processo inovativo é de natureza incremental. De forma semelhante ao que ocorre com a distribuição de Poisson, uma inovação de maior valor (impacto incremental) tem menor probabilidade de ocorrer quanto mais se afasta do valor médio, definido por $E(x) = \vartheta + 1/\lambda_e$. Quanto maior o valor de λ_e menor o valor médio esperado da inovação, dado um valor inicial. Quanto menor λ_e , menor a variância associada à distribuição acumulada do valor de x .⁷¹

Em qualquer dos modelos adotados, pode-se estabelecer um valor máximo z a ser obtido segundo o esforço de pesquisa. Esse tipo de modelo pressupõe admitir que a obtenção de inovações tem custo, que é a porta de entrada para o enfoque microeconômico da Teoria da Inovação Induzida. Tomemos o modelo exponencial. A distribuição de $x(z)$ é derivada de uma amostra de tamanho n , permitindo-se obter a seguinte função de distribuição acumulada, obviamente a partir do modelo exponencial definido para a distribuição de x . Tem-se pois $H_n = [1 - e^{-\lambda_e(z-\vartheta)}]^n$ e partir dela derivada a F.D.P. de (z) .

Quanto maior o número de experimentos, n , mais a distribuição de $h_{n(z)}$ aproxima-se da normal, quanto menor, mais assimétrica à esquerda é essa distribuição. O fundamental é então obter o valor esperado de z , que é

$$E_n = \vartheta + \lambda_e \ln(n) \quad (4.1)$$

resultado que será básico no desenvolvimento do modelo vertical que apresentaremos em 6.. Nessa formulação o ganho incremental de uma unidade de experimento a mais, considerando o resultado z , da fronteira, seria dado por λ/n , que define claramente um padrão de rendimentos

⁷¹ Note que λ_e não se refere ainda ao impacto da inovação e sim ao ganho incremental. O impacto da inovação depende do modelo de crescimento que será adotado, ou seja, da ponte micro-macro estabelecida pelo modelo.

decrecentes, que é aceito como um fato estilizado da pesquisa⁷². Veremos a implicação desse pressuposto a seguir e como ir além de suas limitações. Um processo decisório simples, nesse modelo em que apenas uma linha de pesquisa estaria em jogo, seria o de igualar o valor marginal presente da inovação a seu custo marginal, função do número de parcelas de experimento - *proxy* do esforço de pesquisa. Resultaria pois que um número n de parcelas seriam construídas até que

$$\frac{\lambda V}{n} = Cmg(n).$$

Dois pontos de interesse para a análise que desenvolveremos em 4.2 e em 6: a) a derivação da FPI a partir das decisões de gasto em inovação; b) a caracterização do processo de esgotamento dos resultados de pesquisa e das possibilidades de mudança da distribuição de probabilidades do processo de inovação.

Supondo que exista um número elevado de linhas de pesquisa disponíveis em cada programa, a forma de organização dos programas, a definição de seu âmbito, escopo e estruturação são extremamente importantes, como mostram os trabalhos de Ruiz (1998) e Geopi (2000). Um ponto de destaque nessa discussão é o da seleção *ex-ante* dos programas de pesquisa, envolvendo a consideração não só das oportunidades tecnológicas e de seus impactos potenciais, mas a externalidades presentes nas diferentes formas de organização desses programas. Ávila *et alii* (1998), Bonelli e Pessoa (1998), David e Hall (1999) e Geopi (2000) fornecem elementos para a análise desse processo de seleção *ex-ante* da pesquisa.

O contato com a discussão crítica da TII está no fato de que essa formulação, apoiada na noção de FPI ou de IPC, postula que existe uma explicação mais geral, endógena ao sistema econômico, mas não apenas circunscrita à identificação de certos padrões contingentes, para a seleção *ex-ante* das linhas de pesquisa. Esse aspecto é central na discussão que conduziremos neste trabalho daqui para a frente. A passagem micro-macro seria feita pela decisão de investir

⁷² Em um modelo em que o crescimento econômico seja afetado pelo surgimento sequencial de inovações ocorreria, fora do estado estacionário, a correlação negativa entre n_t e n_{t+1} , ou seja, uma decisão de investir mais fortemente em pesquisa em um dado período (a duração entre períodos é calibrada segundo a probabilidade de surgimento de inovações) comprometeria a inversão no período seguinte. Esse resultado poderia ser alterado caso existissem elevados custos fixo para o incumbente no estabelecimento da pesquisa. Ele, todavia, dá base para a importância dos efeitos "schumpeterianos" da pesquisa que trataremos no subitem citado nessa nota. O efeito da "destruição criadora" poderia inclusive determinar uma armadilha de não-crescimento (Aghion & Howitt, 1998) quando o excessivo gasto com pesquisa em um período criasse um desincentivo à pesquisa no período seguinte, ou seja, à manutenção de um

em modalidades distintas de pesquisa, supondo que sua organização - factível, à la Williamson - é dada.

A utilização de uma regra de igualação dos Custos Marginais associados às modalidades, por exemplo, n e m , de pesquisa aos seus impactos marginais, em termos de valor presente, - supondo que o total disponível da pesquisa, seu orçamento total seria $m+n$ - levaria a uma FPI tal como na Figura 3.2, só que tendo como argumentos os resultados decorrentes de m e n , z_m e z_n . Como será apresentado com detalhes em 4.2, esse modelo, com $m=n$, por exemplo, permitiria antever que a linha de avanço do processo inovativo apresentaria um viés em direção aos valores limites determinados pelas características das tecnologias de cada uma das modalidades. Estaríamos no campo definido pelas formulações exógenas, pois a decisão de quanto gastar em cada modalidade (ou seja, de alocar-se na FPI em determinado momento) não seria explicada. Todavia, um esgotamento do impulso para gastar em uma modalidade, a outra com gasto constante, seria fácil de antever pelo salto cada vez menor da FPI, ponto coerente com a apresentação feita em 3.3.

Como esse problema seria atenuado, ou seja, como se poderia ultrapassar uma concepção tão limitada de trajetória tecnológica (dada pela linha de avanço ao longo dos sucessivos deslocamentos da FPI)? Uma forma proposta por Evenson (1988) estaria relacionada a uma estruturação do processo de pesquisa que permitisse também explicar a alteração dos valores dos parâmetros de oportunidades tecnológicas. Entramos no campo da determinação de uma estrutura de incentivos à pesquisa e da captação de efeitos de *spill over*.

Dois exemplos são bastante ilustrativos de como a estruturação do sistema de pesquisa pode interferir na caracterização da trajetória de avanço da FPI. O primeiro deles, como apresentado por Evenson (1988; 1998), refere-se ao desenvolvimento de variedades para obtenção de novos cultivares. Um programa desse tipo motivaria a condução de um programa de melhoramento de populações paralelo ao de obtenção de variedades, cuja função seria justamente a de "recarregar" o sistema, alterando os parâmetros da FPI. Esse sistema, articulado com a produção de variedades, permitiria melhor aproveitar os *spill overs* gerados pelo processo de melhoramento de populações, pelos programas espacialmente localizados.

nível continuado de gasto em pesquisa. Também é interessante colocar o efeito "*crowding out*" nesse contexto. (David & Hall, 1999).

A captação dos diferentes tipos de *spill over* pode ser modelizada colocando o processo de melhoramento (etapa de nível superior) como função de uma base geral, G_i (por exemplo, um banco de material genético) e do esforço de pesquisa. O valor médio esperado seria então semelhante ao obtido em (4.1), ou seja, $T_i = T_i(G_i, B_i) = \vartheta + \lambda_i G_i \ln(B_i)$, $i=1, 2, \dots$, para as diferentes modalidades envolvidas no processo de decisão de pesquisa. O *spill over* apareceria da pesquisa de nível mais inferior, simbolizado por II (no sentido de maior distância do mercado e não de complexidade tecnológica),

A Figura 4.1 representa esse sistema em que a estrutura "paralela" de recarregamento da tecnologia faz com que a linha de avanço mantenha suas características originais (contrastando pois com a idéia de o processo de inovação tecnológica esteja direcionado pelo viés) e em que o limite ideal a cada momento de desenvolvimento tecnológico - caso a pesquisa não tivesse custo - representado pelos pontos TD, desloca-se continuamente.⁷³

O segundo caso refere-se ao programa atual de biotecnologia. Em alguns países do mundo em que competências acadêmicas em biologia, bioquímica, genética e informática foram desenvolvidas, foi possível desenvolver programas do tipo Genoma. São programas que utilizam por um lado o instrumental padronizado resultante do desenvolvimento de *kits* biotecnológicos nos últimos 20 anos (marcadores, ampliadores, vetores, vetores de expressão, enzimas de restrição); por outro, dependem de uma massa crítica em bioquímica, biologia (em suas distintas vertentes) e bio-informática.

Esse programa, organizado na forma de redes, estaria completamente localizado no que acima chamamos de nível II, distante de aplicações de mercado. Seu objetivo é dar base a um conjunto de inovações futuras que poderão ou não ser guiadas por hipóteses como a que sustenta a Teoria da Inovação Induzida. No momento, sua função é ampliar a capacidade de gerar *spill overs* para os processos de base biológica, como o melhoramento vegetal ou terapia humana. O fato de o Brasil direcionar para biotecnologia vegetal grande parte de seu esforço "Genoma"

⁷³ Evenson (1998) formula um modelo que se aplica aos diferentes níveis mencionados acima, resultando em regras alocativas bastante simples, em torno do que ele chamou "regra de congruência": se os parâmetros que representam as oportunidades tecnológicas têm igual valor, a atividade inventiva (o melhoramento genético) é proporcional ao valor das unidades afetadas, ou seja $\frac{B_i}{B_j} = \frac{V_i}{V_j}$. $B_i (i=1, 2, \dots; i \neq j)$ representa o esforço em melhoramento e V_i o valor

marginal da inovação. Essa regra funcionaria como *benchmark* que permitiria identificar os casos em que formas "fortes" de inovação induzida emergiriam.

poderia ser explicado por problemas de custo produtivo e produtividade agrícola (caso antecipássemos por uma IPC o efeito poupador dos possíveis desdobramentos da tecnologia, dos *spill overs* por ela gerados), mas também pela "tradição" tecnológica (Nightingale, 1999) e pelo estágio de desenvolvimento das outras etapas (mais próximas do mercado) no país.

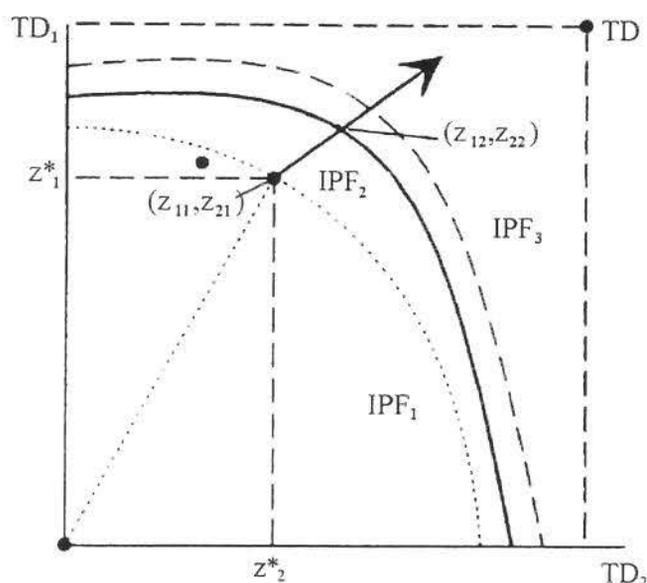
Os desenvolvimentos que faremos no texto devem ser sempre analisados à luz da idéia de que a "estruturação do sistema de pesquisa importa enormemente" e talvez sua configuração não seja um mero reflexo da uma "força econômica" mais geral.

Reiteramos que críticas a formulações baseadas em IPC e FPI voltam-se menos ao tipo de distribuição escolhida (que é aderente às características de evento raro de uma descoberta tecnológica), e sim à possibilidade de conhecimento da distribuição e de seus parâmetros. (ver Dosi & Egidi, 1991). Como o conhecimento do parâmetro da distribuição de Poisson ou exponencial está na base de todos os modelos, a associação de incerteza radical à sua determinação, todos os resultados que se seguem ficam comprometidos. É importante observar que também a formulação da TII que será apresentada a seguir estaria sujeita a essa crítica. Coerentemente com o desenvolvimento feito até este ponto, vamos aceitar a validade da distribuição e deixar a discussão crítica para o capítulo final do trabalho.

4.2 O modelo microeconômico da TII

O primeiro elemento desta formulação parte das observações de Binswanger (1978), Hayami & Ruttan(1985) de que: **toda pesquisa tem custo e este envolve modelar um processo de decisão.**

Figura 4.1. Relação entre Modalidades de Inovação e FPI

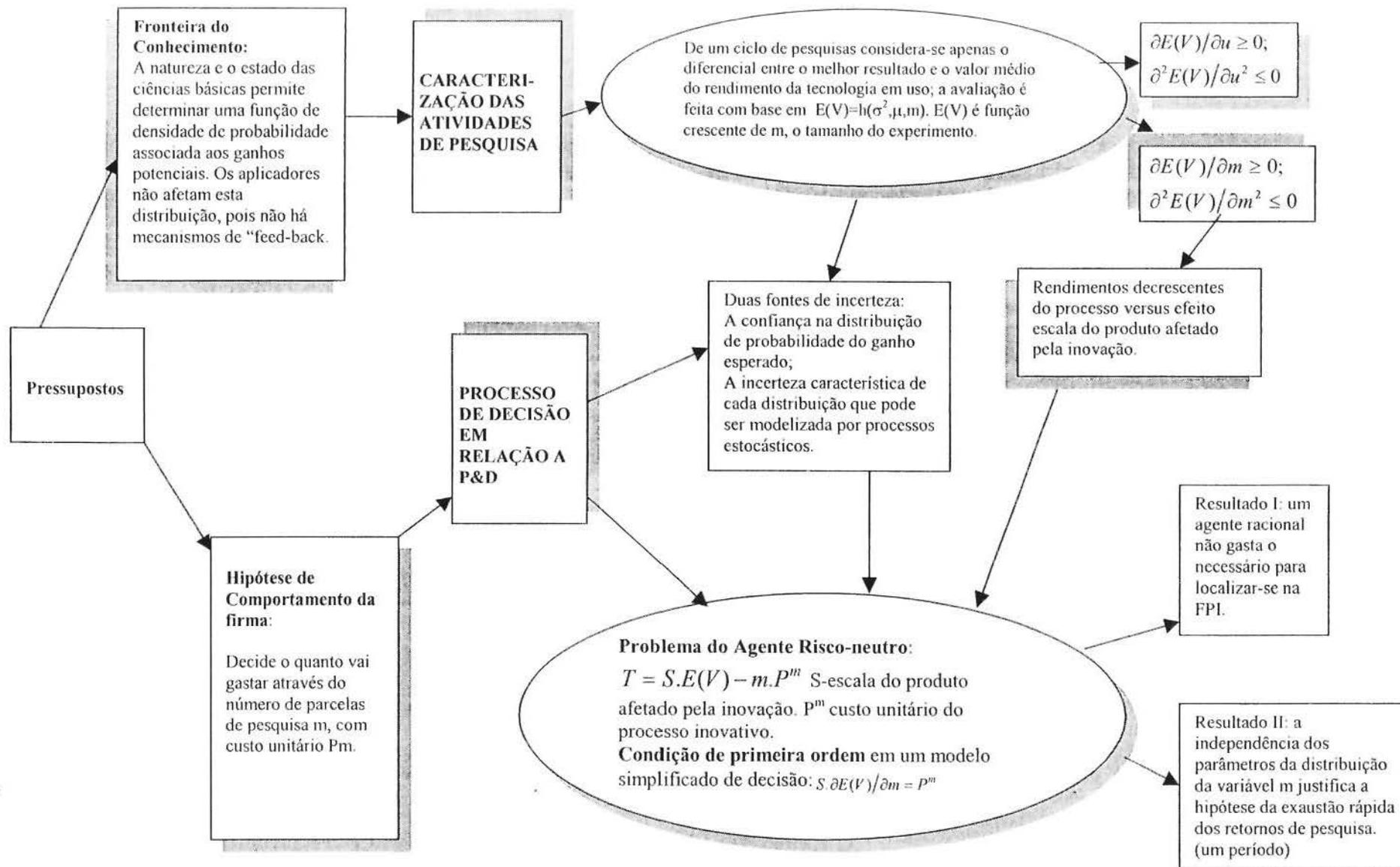


Fonte: Apud Evenson (1988)

A Figura 4.2 resume as principais características de um processo de decisão de uma firma em relação às decisões tal qual formulada por Binswanger (1978:91-97). Esta se divide em duas partes: a) as características do processo de inovação; b) os parâmetros do processo de decisão. Requer-se que as duas estejam de acordo com a hipótese central do modelo de inovação induzida, que aparece na Figura 4.2 sob o nome de “critério geral de eficiência” e se refere à relação escolha eficiente da tecnologia e preços relativos dos fatores e dos bens.

Em primeiro lugar, os rendimentos marginais da pesquisa são decrescentes. Quanto mais unidades “ m ” de parcelas de pesquisa forem desenvolvidas, menor o seu resultado marginal. O mesmo se aplica ao efeito parcial do rendimento médio (γ , que fornece a escala do efeito tecnológico) nos resultados da pesquisa, ou seja, quanto maior o rendimento médio, menor o ganho marginal esperado com os gastos de pesquisa.

Figura 4.2 Esquema do Modelo Microeconômico da Inovação Induzida



Critério Geral de Eficiência: tecnologia é considerada eficiente se conduz a um aumento ótimo da produção medida aos preços de bens e dos fatores que se assume refletir seus respectivos graus de escassez.

Esse modelo é simplificado por considerar que não ocorrem antecipações sobre possíveis “saltos tecnológicos” que, alterando a expectativa do efeito da pesquisa sobre os coeficientes relacionados aos fatores, teriam influência sobre as decisões de investimento (e principalmente, sobre sua repartição por tipo de pesquisa, que é o elemento que liga a decisão de gasto em pesquisa e viés, como veremos).

O resultado da pesquisa está sujeito a risco. Trata-se de um resultado esperado, uma expectativa de ganho. Considerando que o agente confia na distribuição de probabilidades associada aos eventos (resultados de pesquisa), uma pesquisa feita em T períodos poderia ser modelizada através de processos estocásticos, como os processos estacionários *markovianos*. Na atual formulação, simplificou-se não considerando a mudança da matriz de transição de probabilidades entre os períodos da pesquisa. Além do efeito da pesquisa, deve-se ter em conta a importância do produto cuja produtividade está sendo afetada por ela. Trata-se de um efeito escala causado pelo produto.⁷⁴

Passando para a outra parte vê-se que agente enfrentaria os dois tipos de incerteza apresentados na Figura 4.2.⁷⁵ Considerar a confiança do agente na distribuição de probabilidade do ganho esperado com o esforço de pesquisa permite colocar o processo de decisão no campo das funções de utilidade aditivas e de seus axiomas fundamentais. Supondo que o agente seja risco-neutro⁷⁶, seria possível calcular o esforço de pesquisa necessário para maximizar o resultado esperado e, dadas as suposições acima, o nível de bem-estar.

Do modelo simplificado de decisão apresentado na Figura 4.2 obtêm-se dois resultados importantes: a) a FPI, apresentada em 3.3, poderia representar o estado-da-arte da tecnologia, mas não seria atingida pelas decisões de um agente maximizador que levasse em conta o custo de realização da pesquisa; b) uma vez obtido como resultado de pesquisa um diferencial acima do valor médio considerado como referência, dados os rendimentos decrescentes da pesquisa, um

⁷⁴Tal efeito será discutido ainda neste capítulo. A simplificação do modelo em relação à evolução no tempo dos coeficientes λ_A e λ_B (que passariam a variáveis de estado) é coerente com a hipótese de que o processo inovativo dure apenas um período. A discussão sobre de que maneira considerar a evolução destes parâmetros no tempo afeta a TII será feita após a apresentação dos modelos de crescimento endógeno.

⁷⁵ Tal consideração está de acordo com o debate sobre incerteza e racionalidade (Dosi e Egidi, 1991 e Rondé, 1992; mostrando o pioneirismo desta formulação, que é baseada também no trabalho de Evenson e Kislev (1975).

⁷⁶ A hipótese de aversão ao risco, principalmente no caso da pesquisa agrícola é mais realista, mas direcionaria a “mix” de pesquisas para aquelas de menores covariâncias, afetando a estrutura de mercado. Em geral, um agente averso ao risco comporia um “portfolio” com ativos com correlação negativa.

novo ganho exigiria uma parcela maior que a anterior e, com isto, maior gasto. Este raciocínio levaria a admitir a exaustão dos ganhos de pesquisa em um período, caso o investimento realizado fosse ótimo.

O primeiro resultado mostra existir uma certa distância entre a formulação macro apresentada anteriormente e a mais simples das formulações envolvendo o processo de pesquisa. Quanto mais sofisticássemos o modelo, por exemplo, incluindo a correlação positiva entre “ m ” e o custo da pesquisa (que seria então tomado como uma variável de estado e não como uma restrição fixa em um modelo de máximo valor esperado do retorno de pesquisa), mais distante da FPI estaria a decisão alocativa dos agentes. Entretanto, quanto maior o alcance da inovação (maior o produto afetado pelo resultado de pesquisa) e menor o custo da unidade de pesquisa, mais próximo pode estar o agente de uma dada fronteira de possibilidades de inovação.

O segundo resultado poderia ser alterado caso a pesquisa básica fosse “induzida” pela pesquisa aplicada (cujo processo está esquematizado na Figura 4.2). Neste caso, teríamos um modelo mais próximo do apresentado por Evenson (1988:290) e, de forma mais geral, por Kline & Rosenberg (1986). Isto permitiria superar o processo de rápida exaustão e “potencializaria” o suposto efeito da indução sobre a pesquisa aplicada.

Até aqui formulamos os elementos de um modelo que considera o processo de inovação. Há mais alguns detalhes que estão diretamente relacionados com a forma da função de produção escolhida, para uma melhor representação do processo que explique os fundamentos microeconômicos do viés endógeno.

A formulação proposta se afasta tanto do uso de uma função de produção com coeficientes do tipo “*factor augmenting*”, quanto de considerar os gastos de pesquisas como fatores de produção. Justificaremos a rejeição ao uso de funções do primeiro tipo.

O que Binswanger (1978:128-129) procura, ao criticar a formulação baseada em coeficientes do tipo *factor augmenting* – compatíveis com a formulação da IPC de Ahmad - é afastar-se da situação apresentada na Tabela 1, na Figura 3.2 e no item 3.3.1, em que o processo de indução está ligado ao comportamento do parâmetro relacionado à elasticidade de substituição (representada por σ), o que cria um vínculo deste com um certo tipo de trajetória neutra de

crescimento balanceado. Isto certamente representaria um obstáculo à pretensão de generalidade do modelo de indução proposto pela TII.⁷⁷

Em resumo, o autor está procurando relacionar as decisões de pesquisa à emergência de viés, independente da elasticidade de substituição, ponto que a equação (3.5) já havia evidenciado.⁷⁸

A função de produção escolhida, chamada “Leontief modificada-LfMd” (ver Sadoulet e de Janvry, 1995), não só permite evitar estes problemas, como também torna extremamente fácil a análise em termos da função custo, cuja minimização define o problema do agente pesquisador – no caso uma empresa com pesquisa “*in house*”. Deixando os detalhes para os leitores do trabalho de Binswanger ou mesmo recomendando o resumo feito por Assunção (1997:15-29), passemos diretamente aos pontos essenciais para a análise proposta pelo trabalho.

A função Custo derivada da função LfMd é a seguinte:

$$C = Y[AR + B\tilde{W} + \frac{1}{2}\zeta R^{\frac{1}{2}}\tilde{W}^{\frac{1}{2}}] \quad (4.2)$$

que pode ser convertida numa função custo com coeficientes fixos se o parâmetro ζ for zero. Colocando o problema do agente como minimizar custos sobre a restrição imposta pela função de produção, obtêm-se os valores ótimos de K^* e L^* compatíveis com a limitação imposta pelo modelo de que a exaustibilidade da pesquisa ocorre em um só período.⁷⁹ Com isto pode-se obter uma expressão modificada da expressão (4.2) em termos de LfMd. Considera-se que $g_A = (A_0 - A_1)/A_0$ é a taxa de variação entre dois períodos (antes e depois da pesquisa) do coeficiente da LfMd associado ao capital. O mesmo pode ser feito para expressar a taxa relacionada ao fator

⁷⁷ Isto não seria verdade apenas no caso da função Cobb-Douglas (que é muito utilizada na comparação entre os processos de crescimento de diferentes países, como pode ser analisado em Barro e Sala-I-Martin, 1995), em que a trajetória seria sempre neutra. O problema do uso de coeficientes deste tipo estaria na limitação imposta ao fato de que a pesquisa não necessariamente afeta cada um dos fatores, sendo importante captar os efeitos cruzados da decisão de pesquisa, o que esta forma da função de produção não permitiria.

⁷⁸ Esta opção metodológica é mais próxima da utilizada por Metcalfe (1997:95), que todavia procura abrir mão da idéia de “substituição suave entre fatores”, ou seja, do uso de funções de produção.

⁷⁹ Diewert (1971) aplica o “*lema de Shephard*” à LfMd para obter a relação K^*/L^* que irá permitir que se apresente uma nova definição do conceito de viés. Para uma versão flexível da função LfMd ver Diewert & Wales (1988). Esta versão permite captar um maior grau de interação entre os fatores e pode ser generalizada para representar os custos de um sistema de produção, como por exemplo, do sistema de alimentação animal, em que o entendimento dos efeitos de substituição devido a mudanças de preços, no curto e longo prazos, e também por efeitos tecnológicos estruturais, pode ser intuído com facilidade.

trabalho.

Partindo da seguinte expressão do viés $Q|_{R\bar{W}} = g_K - g_L$, tendo como ponto de partida K_0 e L_0 e substituindo os valores ótimos deste argumentos obtidos de LfMd, segundo o *lema de Shephard*, tem-se a expressão do viés em função dos coeficientes A e B , que é a “pedra fundamental” da TII⁸⁰. Tem-se então:

$$Q|_{r\bar{w}} = \frac{YA_0}{K_0^*} g_A - \frac{YB_0}{L_0^*} g_B \quad (4.3)$$

Quando a expressão (4.3) assume um valor estritamente positivo tem-se um viés poupador de capital; quando estritamente negativo, poupador de trabalho (ou melhor, utilizador de capital); neutro ao assumir o valor zero. O caso de proporções fixas torna-se um caso limite, isto é, quando $YA_0=K_0$ e $YB_0=L_0$. Trata-se de um viés condicionado pelos preços dos fatores em questão, que estão fixos.

Há evidentemente um efeito secundário da atividade de pesquisa sobre o nível de utilização de K e L sobre os preços relativos destes fatores e, conseqüentemente, pelo menos um processo transitório de ajustamento do efeito do gasto em pesquisa. Este efeito não está sendo considerado na análise que se segue. Isto pode introduzir uma dúvida: mas não são os preços relativos os causadores de viés? O interesse do modelo está justamente no reconhecimento de que a relação entre fator escasso a ser poupado e os sinais microeconômicos para realizar a pesquisa poupadora necessita de uma explicação não trivial, que ultrapasse o dilema já apontado em outros capítulos, entre mudança técnica (que depende de σ) e mudança tecnológica. Por isto é preciso avançar em relação à expressão (4.3), que pouco adiciona ao que já foi discutido até aqui.

O ponto importante está em explicar a relação entre as taxas de variação dos coeficientes relacionados ao capital e trabalho e o processo inovativo, a partir desse modelo de dois insumos e um bem final. Para tanto, o modelo detalha o processo de pesquisa cujos aspectos gerais

⁸⁰ O enfoque dual na estimativa da demanda por insumos (necessária para o cálculo do viés) está associado ao uso do “*lema de Shephard*” como estratégia mais utilizada. Vários autores alertam para a perda de flexibilidade desse enfoque em relação ao efeito das mudanças de preços relativos, limitando a capacidade dos modelos, normalmente baseados em estimativas de sistemas de equações (SUR, por exemplo), em explicitar claramente a estrutura produtiva. Todavia, as limitações apontadas no uso de funções do tipo LfMd não invalidam a apresentação a seguir, na medida em que os autores sugerem a possibilidade de utilizar formulações mais acuradas para relacionar modalidades de gastos de pesquisa e seu efeito em relação aos coeficientes (*scaling factors*) associados aos inputs.

introduzimos na Figura 4.2. Adicionamos algumas características importantes às características do processo de pesquisa:

a) É um processo aditivo, o que é compatível com o modelo de distribuição de probabilidade baseado na distribuição de Poisson, como vimos em 4.1.2;

b) Está definido em apenas um período, em função da argumentação de rendimentos decrescentes e exaustibilidade já discutidos, este ponto em franco desacordo com as visões atuais de crescimento endógeno;

c) Existem dois processos alternativos de pesquisa, caracterizados pelos experimentos m e n . Cada um destes processos, independentemente de onde são aplicados, atuam o sentido de reduzir o valor do parâmetro A ou B da função de custo. Todavia, os coeficientes λ_A e λ_B , indicadores das produtividades tecnológicas de cada modalidade de experimento, são, por coerência, distintos.⁸¹ Nos dois tipos de processo, afetando A e B , as funções escalas, por exemplo do tipo $\gamma(m)$, são iguais, apontando para rendimentos decrescentes do esforço de pesquisa comuns aos dois tipos de experimento, o que significa colocar nos coeficientes de oportunidades tecnológicas – também chamados de produtividade – o efeito diferencial do processo inovativo.⁸²

As variáveis relativas ao efeito sobre a produtividade das características poupadoras de fatores de cada linha de pesquisa⁸³ são iguais, diferindo apenas quanto à variável sujeita a decisão (variável de controle), ou seja, o número de experimentos de cada tipo. Em resumo, é possível aumentar a produtividade poupando o fator relativo ao coeficiente A , realizando experimentos dos dois tipos, m e n . Considera-se que maior gasto em m terá um efeito sobre a produtividade

⁸¹ Binswanger(1978:137) denomina os parâmetros λ_A e λ_B de “possibilidades de invenção”, o que é extremamente vago. O fato é que afetam a variação dos parâmetros A e B , que estão diretamente relacionados à função custo (ou lucro) LfMd. Tais parâmetros podem ser associados à idéia de taxa de surgimento de inovações, de uma distribuição de Poisson, que é a forma mais simples e comum de modelar o resultado do esforço inovativo. Todavia, nessa formulação, a própria pesquisa não interfere no valor dos parâmetros, sendo pois, um atributo de uma meta-função de possibilidades de inovação.

⁸² O mesmo raciocínio vale para gastos na modalidade “ n ”.

⁸³ Tais variáveis, dependentes das decisões de gasto em pesquisa nas diferentes modalidades, têm a função de compatibilizar as escalas entre os parâmetros de produtividade e os parâmetros associados à mudança na função objetivo (custo ou lucro). Poderíamos considerar também como a resposta da inovação aos gastos em pesquisa de cada modalidade, relacionado ao número de experimentos conduzidos. Não há uma preocupação com o modelo probabilístico associado, em função dos pressupostos limitantes do modelo.

igual tanto para A ou para B, se λ^m for igual nas duas modalidades, o que, como veremos, não deve ocorrer com facilidade. No capítulo 6 relacionaremos esta formulação com aquela bastante conhecida que relaciona o processo inovativo a uma distribuição de Poisson, em que a taxa de surgimento de inovações depende do parâmetro dessa distribuição, que por seu turno, tem mais efeito sobre o sistema quanto mais gasto de pesquisa for realizado.⁸⁴

A expressão que relaciona a taxa de crescimento do coeficiente de pesquisa, indexado pela natureza de seu efeito, ou seja, do tipo A, seria então:⁸⁵:

$$g_A = \gamma(m)\lambda_A^m + \gamma(n)\lambda_A^n \quad (4.4)$$

Esse modelo permite estilizar diferentes impactos do processo inovativo, segundo as restrições colocadas na relação dos parâmetros de produtividade, com três casos: a) substituição; b) mudança técnica pura; c) o caso ortogonal.⁸⁶

Se ocorre um efeito substituição, neste as parcelas m de pesquisa levam a um efeito sobre g_A maior que sobre g_B , tendo como consequência, pelo efeito alocativo, um menor uso de capital (um viés poupador de capital) que supera o maior requerimento do trabalho, dada uma certa faixa de preços relativos bem comportada (para evitar o problema de retrogressão apontado por Binswanger, 1978:137).

Na caso do efeito puro, o processo inovativo de tipo “ m ”, por exemplo, levaria a um menor uso dos dois fatores. Finalmente, na situação ortogonal, há independência completa dos esforços de pesquisa, caso em que o processo indutivo, se a sinalização de mercado fosse clara, permitiria a correção adequada (e endógena) do viés. Binswanger (1978:101) apresenta uma representação gráfica que permite visualizar os três casos apresentados.

⁸⁴ Nessas duas formulações, ainda que distintas, as oportunidades tecnológicas são tomadas como dadas pelos agentes que decidem inovações. Tornar esse processo endógeno exige uma “estruturação” mais iterativa do processo de pesquisa, como observam Evenson (1988) e David & Hall (1999), para citar autores mais próximos aos cortes teóricos de que estamos tratando. A percepção de semi-endogeneidade das teorias de crescimento endógeno é ressaltada por Jones (1995a) e Metcalfe (1997).

⁸⁵ Apresentamos apenas a parte relativa ao coeficiente “A”, para exemplificar. Para o coeficiente “B” tem-se uma expressão similar, em que aparece outro índice de produtividade – da produtividade associada ao fator trabalho – aqui chamado de λ_B .

⁸⁶ Essa estilização encontra correspondência na discussão do item 3.3.3, sobre IPC e FPI e as noções de viés relativo e absoluto.

Aos casos de efeito substituição e efeito puro correspondem as seguintes restrições nas relações entre os parâmetros de produtividade da pesquisa, impostas às características do processo inovador, como parte da uma repartição natural dos experimentos.

$$\begin{aligned} \lambda_A^m &> 0 > \lambda_B^m \\ \lambda_B^n &> 0 > \lambda_A^n \end{aligned} \quad (4.5)$$

Esta seria a restrição imposta ao efeito substituição. Uma pesquisa cuja expectativa fosse afetar o coeficiente A (reduzindo-o entre um período em outro) teria um efeito negativo sobre B . Poderíamos chamar esta de “restrição forte da TII”. A restrição imposta ao efeito puro seria mais suave :

$$\frac{\lambda_A^m}{\lambda_B^m} > \frac{B_0 K_0^*}{A_0 L_0^*} > \frac{\lambda_A^n}{\lambda_B^n} \geq 0 \quad (4.6)$$

Podemos também denominar o caso puro de “restrição fraca da TII”.

Para explicar o caso puro, vamos a um exemplo. No caso da agricultura, o pesquisador teria na pesquisa em mecanização um efeito fortemente poupador de trabalho. Logo, a expectativa do investidor seria que a taxa de surgimento de inovações no tempo (mantido um fluxo contínuo de recursos para tanto) resultaria em aumento da produtividade do trabalho.

Isto permitiria, hipoteticamente, também reduzir a necessidade de trator por 100 ha – e conseqüentemente por unidade de produto - sendo pois, poupador de capital, mas com um efeito menos intenso. Ainda utilizando a mecanização como exemplo, uma pesquisa em novos materiais tornaria um implemento mais barato, sendo poupador de capital. Isto não seria confundido com o efeito anterior, pois a propriedade não alteraria seu grau de mecanização. Mas, suponhamos que um material mais leve fosse transportado ao campo mais facilmente, reduzindo o número de homens/hora para colocar ou acoplar o implemento à máquina. Isto seria também poupador de trabalho, mas com um efeito bem menos acentuado, confirmando o “efeito puro”.

Já o “efeito substituição” corresponderia ao tradicional efeito de substituir uma etapa manual que utilizava uma ferramenta por um equipamento com fonte motora independente, elevando a necessidade de capital, causando possivelmente um desemprego tecnológico e tendo como conseqüência a elevação dos custos irrecuperáveis envolvidos na produção (hipótese que não cabe quando o capital é *putty-putty*, mas compatível com modelos *putty-clay*, que são

crescentemente incorporados aos modelos de crescimento endógeno⁸⁷). O que as restrições acima impõem é que o pesquisador que decida investir em experimentos para poupar trabalho, sabe que este efeito terá maior probabilidade de ocorrer, ou seja, que seu viés será poupador de trabalho.

Isso poderia ser representado pelo efeito esperado no gasto adicional com uma parcela do experimento m (ou do experimento n), apresentado abaixo⁸⁸:

$$\frac{\partial Q}{\partial m} = Y\gamma_m \left(\frac{A_0}{K_0^*} \lambda_A^m - \frac{B_0}{L_0^*} \lambda_B^m \right) > 0 \quad (4.7)$$

Este efeito no viés deve ser entendido, nas condições do modelo proposto, como ocorrendo após a inovação, tomando o inverso da forma *capital augmenting e labor augmenting* no momento zero, como ponderadores respectivamente das possibilidades de inovação dos experimentos m sobre os coeficientes relacionados ao capital e ao trabalho. Ao efeito positivo esperado, associa-se a noção de efeito poupador de capital. O inverso deve ocorrer no caso $\frac{\partial Q}{\partial n}$, uma vez que para qualquer que seja a restrição imposta ao comportamento dos coeficientes que sintetizam as possibilidades de inovação, espera-se um efeito negativo, ou seja, associado à noção de efeito poupador de trabalho (ou utilizador de capital).

É fácil perceber que o viés na expressão (4.7) depende da confiança de quem decide no parâmetro da distribuição de probabilidade associada à "taxa de surgimento" de um tipo efeito esperado de conhecimento comum, sobre a inovação. Obviamente isto não é tudo, pois a presença de $Y\lambda_m$ evidencia a importância do experimento em termos econômicos. De nada adiantaria um experimento causador de viés poupador se aplicado sobre um produtor de pequena relevância econômica.

A argumentação de Binswanger (1978) volta-se então para a orientação do mecanismo redutor de custo como parte da percepção microeconômica do agente inovador. Para tanto, basta

⁸⁷ O termo *putty-clay technologies* foi introduzido por Johansen (1959) e refere-se a um conjunto de características relacionadas ao papel do capital que não são encontradas nos modelos neoclássicos: funções de produção de curto prazo não lineares, investimento irreversível, capacidade de utilização produtiva variável e um processo endógeno de substituição da maquinaria. Ver Gilchrist e Williams (1998:1) e também Caballero e Hammour (1996).

⁸⁸ Para obter este resultado, ache o diferencial total de Q e divida pelo diferencial de cada tipo de experimento. Um arranjo algébrico em seguida coloca o impacto esperado de cada tipo de experimento na taxa de crescimento dos fatores (efeito escala) em evidência, deixando entre parênteses o diferencial entre as possibilidades de inovação ponderadas pelas condições iniciais dos coeficientes (relacionados ao capital e trabalho) que lhes são correspondentes.

obter a expressão de um ΔC causado pela inovação. Fazendo $C^*_0 - C^*_1$ a redução de custo de duas funções custo derivadas da LfMd (expressão (4.2)), substituindo e simplificando tem-se:

$$\Delta C = YRA_0 g_A + Y\tilde{W}B_0 g_B \quad (4.8)$$

Note que se o termo ζ for diferente de zero, YRA_0 e $Y\tilde{W}B_0$ não esgotam o valor respectivamente do capital e do trabalho no momento inicial. Isto todavia não deve ser confundido com o fato de que o termo ζ não aparece nesta equação, não afetando o viés, ao contrário do que vimos no item 3.3.2 para as formulações baseadas na FPI, ponto que é ressaltado por Binswanger (1978:138).

Estando definido o modelo é preciso especificar as regras de comportamento do agente inovador em relação ao que é genericamente apresentado na Figura 4.2, caso contrário tem-se um modelo ainda exógeno e uma previsão de efeitos da inovação que está sujeita à escolha, pelo agente, do tipo de pesquisa e quanto será gasto. Mas o que determinaria esta escolha e o montante gasto?⁸⁹

Para tal, três situações seriam possíveis:

- a) Não existe limitação orçamentária para pesquisa, base para a argumentação que estamos desenvolvendo;
- b) A restrição orçamentária dá-se no montante total de pesquisa;
- c) A restrição orçamentária ocorre nos recursos para investimento.

Trabalharemos com as situações “a” e “b”. O item “c” traz à baila o tema da relação entre pesquisa e financiamento, que transcende o escopo da TII. (ver Aghion e Tirole (1994) para um primeiro apanhado da questão; também David & Hall (1999), para uma proposta interessante, que avança no sentido de diluir as fronteiras entre o público e o privado na pesquisa).

Um modelo sem restrição implica maximizar a redução de custo ocorrida entre dois períodos, dado o custo da pesquisa, indicado por $(m.P^n + n.P^n)$. Isto levaria a um problema tradicional de otimização, obtendo a solução pela imposição das condições de primeira ordem. A

⁸⁹ Assunção (1997) não percebeu que justamente a parte que desenvolveremos a seguir é que caracteriza a endogeneidade do processo. Sua apresentação do modelo limita-se a detalhar o problema até o ponto correspondente à expressão (4.7).

partir deste resultado, isolando o efeito do incremento de uma parcela de experimento (m e/ou n) por meio de uma diferenciação total, chega-se aos fatores que determinam o chamado “*mix* de pesquisa” da firma.

Obtém-se com isto uma definição mais clara dos casos tecnológicos apontados acima, pois ao invés de defini-los a partir de uma restrição *ad hoc* colocada sobre os parâmetros, temos a definição pelo efeito cruzado do acréscimo do valor de uma unidade de trabalho (para investimentos poupadores de capital) e capital (o inverso) sobre a decisão de investir em uma determinada combinação m e n de experimentos. Por exemplo, o caso “puro” seria aquele em que o efeito cruzado $\frac{\partial m}{\partial \ln c_L} > 0$. Quando a expressão assumisse um valor negativo, teríamos o caso “substituição” e quando zero, o caso “ortogonal”. A condição para classificar o tipo de efeito do processo inovativo introduz uma questão que será importante para a análise dos modelos de crescimento endógeno feita no próximo item: o valor do trabalho, a taxa de juros (ou uma taxa de juros subjetiva, de preferência do agente) e a duração do “*mix* de pesquisa”⁹⁰.

Na formulação apresentada por Binswanger (1978:140), o tempo T de duração do *mix* é apresentado pela fórmula de cálculo de valor presente do componente “trabalho” na função de produção e apenas no valor do trabalho está se considerando o efeito de r . Quanto mais elevada r menor o valor presente \tilde{W} , pois um peso menor incidiria sobre os salários pagos no futuro em relação ao desconto no presente, logo $\frac{\partial \tilde{W}}{\partial r} < 0$. Já o efeito da duração T é obviamente positivo⁹¹. Com isto, o efeito da variação de r e T sobre o a variação do valor do trabalho tem sinais correspondentes aos esperados sobre o valor presente da taxa de salários no equilíbrio. Aplicando a regra da cadeia tem-se o efeito esperado $\frac{\partial n}{\partial r} \leq 0$ e $\frac{\partial n}{\partial T} \geq 0$ e um efeito indefinido sobre ∂m causado por ∂r e ∂T (pois depende do tipo de efeito inovativo).

⁹⁰ Os custos de manutenção são considerados desprezíveis nesta formulação.

⁹¹ O tipo de inovação teorizado por Binswanger (1978) pode ser classificado como “drástico”, que segundo Aghion e Howitt (1992) tendem a ser muito pequenas. O leitor familiarizado com teorias de inovação tecnológica percebe que T pode ser endógeno à medida que o leque de oportunidades tecnológicas vai se ampliando. O tratamento dado ao tempo de duração e ao tamanho das inovações exige, todavia, uma melhor descrição da estrutura do processo de pesquisa: sua relação com o processo concorrencial; com a relação inter-setorial; com o processo de apropriação dos ganhos da inovação. Da forma com que é apresentada por Binswanger (1978), T é assumida como variável exógena, ligada à natureza do processo inovativo do tipo “ m ” ou “ n ”.

Esta digressão sobre os efeitos dos componentes do valor de \tilde{W} fica bastante limitada pela própria formulação, que foge do usual ao relacionar a taxa de desconto e a duração do “mix de pesquisa” à taxa de salários e não ao capital. Todavia, os efeitos estão dentro do esperado pela literatura econômica, só que afetando de forma inequívoca somente a parte do experimento relacionada à pesquisa poupadora de trabalho. O efeito sobre as modalidades de experimento poupadoras de capital depende do tipo de efeito inovativo, se puro ou por substituição. Todavia, estes efeitos permitem uma discussão posterior com o efeito da taxa de juros e do tempo sobre o processo inovativo nos modelos de crescimento endógeno.

Quais seriam os determinantes microeconômicos do viés em um modelo em que não se impõem qualquer restrição aos orçamentos de pesquisa? Para tal, basta decompor $\frac{\partial Q}{\partial \ln c_K}$ através da derivação total, em função dos dois tipos distintos de experimentos. Este processo permite visualizar que o efeito de $\partial \ln c_K$ sobre ∂Q passa pelo seu efeito sobre ∂m , que é o mecanismo de indução do aumento do valor do componente de capital sobre o processo de pesquisa (predominantemente, no caso puro) poupador de capital e também pelo efeito correspondente de $\partial \ln c_K$ sobre ∂n , que é o efeito cruzado do aumento do valor do capital sobre o processo de pesquisa (predominantemente, no caso puro) poupador de trabalho. Está determinada assim - tomando o efeito instantâneo da pesquisa (ou desconsiderando a existência de um *lag* de tempo para a pesquisa tenha efeito) - a cadeia de transmissão dos custos para o viés: um aumento do valor do capital a partir do ponto de equilíbrio induz um processo de pesquisa que por seu turno induz o viés.

Para obter a expressão descrita no parágrafo anterior basta substituir $\frac{\partial Q}{\partial m}$ pela expressão (4.7) (e no outro termo do lado esquerdo, a expressão correspondente ao experimento “n”) para obter a seguinte expressão:

$$\frac{\partial Q}{\partial \ln c_K} = Y\gamma_m \left(\frac{A_0}{K_0^*} \lambda_A^m - \frac{B_0}{L_0^*} \lambda_B^m \right) \frac{\partial m}{\partial \ln c_k} + Y\gamma_n \left(\frac{A_0}{K_0^*} \lambda_A^n - \frac{B_0}{L_0^*} \lambda_B^n \right) \frac{\partial n}{\partial \ln c_k}. \quad (4.9)$$

Esta expressão é fundamental, pois mostra como as restrições impostas às relações entre os parâmetros de oportunidades tecnológicas são fundamentais para a avaliação do efeito indutor. Daí se retira um raciocínio mais geral da lógica do modelo: todos os efeitos passam por

“moldar”(se λ_A^m e γ_m variam conjuntamente, poderia gerar até estruturas não-lineares) os parâmetros que diferenciam os tipo de pesquisa. Os modelos com restrição tornarão este ponto crucial mais claro.

É fácil perceber que no caso de um “efeito substituição”, o modelo aponta na direção esperada pela teoria e responde à pergunta que fizemos no início do item: haveria um microfundamento a direcionar o processo de pesquisa, aceitos os pressupostos restritivos do modelo⁹². Todavia, não é o que ocorre se tanto os experimentos do tipo “ m ” (o esperado) quanto “ n ” forem poupadores de capital (e vice-versa, se tratássemos do efeito de um aumento em valor do trabalho, a partir do ponto de equilíbrio). Neste caso, os efeitos cruzados levariam a uma indeterminação do efeito do aumento da parcela em valor do capital sobre o viés.

Então, a explicação dependeria de como se deu a seqüência do processo inovativo: qual seria o efeito do acúmulo de pesquisas em uma mesma linha sobre os parâmetros (ou variáveis de estado) de produtividade, que definem o que é característico, o tipo de inovação. Nesse modelo, a “dinâmica” fica limitada ao efeito de m e n sobre os rendimentos (decrecentes) das funções de escala.

Passemos a descrever a dinâmica do processo. Considerando o nível A_0 ⁹³ e um subsequente aumento do custo do capital, isto levaria a um ponto em que a produtividade marginal do experimento “ m ”, sendo decrescente, seria igualada à produtividade marginal do experimento “ n ”, também poupador de capital, mas por definição menos produtivo a um mesmo nível A_0 . Chegaríamos a um esgotamento das possibilidades inovativas, lembrando que ao investir-se nas duas modalidades de experimentos, os dois tipos de efeito ocorrem. Além deste ponto a pesquisa não mais teria efeito sobre o viés.

Este resultado não anula a validade do modelo microeconômico da TII, mas enfraquece muito seu poder explicativo. Até que ponto predomina o efeito substituição? A complexidade da operação do mecanismo quando existe o efeito puro não levaria a uma nova composição viesada

⁹² Note que o segundo parte do termo à esquerda é sempre positivo, uma vez que $\frac{\partial n}{\partial \ln c_K} < 0$ e aceitas as restrições

impostas sobre os parâmetros de oportunidades de inovação são características do tipo “substituição”, $\lambda_B^n > \lambda_A^n$
⁹³ Escolher um nível de A_0 não é trivial, pois este poderia estar endogenamente determinado pelo nível de participação do capital no custo do produto, ou seja, o *level effect* (Olmstead & Rhode, 1993). Um nível baixo de A_0

de k e y ? Quanto mais desagregada a análise, ou seja, quanto mais tipos de experimentos existirem e quanto mais atributos do processo inovativo forem considerados pelos pesquisadores – que não oportunidades claras como poupar terra, capital ou trabalho, na verdade um problema tipicamente macroeconômico de longo prazo – menos poder de previsão teria a TII e mais cuidado seria necessário para relacionar preços relativos e viés.

Dois questionamentos são de grande interesse:

a) As limitações na operação do mecanismo da TII permitiriam questionar até que ponto seria aceitável supor rendimentos decrescentes da pesquisa. Recorremos então a Evenson (1988:291), que faz uma classificação dos níveis de atividade de pesquisa agrícola de I a V, partindo da pesquisa básica não aplicada (típica de universidades de países centrais e alguns departamentos ou centros de pesquisa dispersos em outros países) até o aprendizado feito pelos usuários. Apesar de admitir a possibilidade de mecanismos de retroalimentação entre os níveis, o artigo é centrado na relação linear e unicausal entre os níveis II e III, que estabelece os potenciais inovativos de curto e longo prazo. O nível III da pesquisa, que é a pesquisa agrícola típica, corresponderia, a nosso ver, ao processo sujeito aos rendimentos decrescentes que são a base do microfundamento apresentado por Binswanger. Esta formulação traria elementos novos para além da crítica de Salter (1965), de que a TII não se referia aos processos de geração de inovações mais importantes, de maior impacto, de caráter descontínuo, distinta da característica de continuidade do processo inovativo comandado pela TII. A novidade é que o mecanismo da TII seria contingente à forma de estruturação da pesquisa, sendo o modelo Evenson uma das formulações possíveis.

b) O modelo sem restrição ajudaria a entender a diferença entre processo inovativo e difusão tecnológica do ponto de vista da TII.⁹⁴ Estando uma economia em um ponto aquém da fronteira (aquela que considera os custos de pesquisa e não a FPI), ela poderia efetuar uma mudança tecnológica através da difusão de tecnologias? O modelo diz que não mais, pois se o viés ocorreu, é porque essa possibilidade já foi utilizada: o tempo de difusão é um tempo distinto do tempo da inovação tecnológica. (ver item 4.1.2).

pode ser indicador de que um processo inovativo anterior já fez sentir seus efeitos. Por outro lado, um baixo valor da relação A_0/K_0 indica uma maior sensibilidade do viés poupador de capital à variação do coeficiente A .

⁹⁴ Ponto apenas apontado por Silveira & Salles-Filho (1990).

As dificuldades relacionadas à “dinâmica” do modelo aparecem com clareza quando se busca estimar os parâmetros por econometria. Em um momento preciso no tempo uma inovação poupadora pode estar se difundindo, mas o mecanismo de indução já operou no passado, possivelmente em outro momento e lugar.

Como fica evidente em Peeters e Surry (1998), o tipo de inovação que mais facilmente se presta à análise econométrica para estimação do *change effect* causado pela TII está relacionado ao efeito de criação de variedade que permite a flexibilização do sistema (com um conseqüente identificação entre a mudança da elasticidade de substituição – nesse caso medida de forma localizada) e o ganho do usuário do *input*, no caso um produtor, propiciado pela maior variedade, tal como na indústria de ração animal. Trata-se justamente de um tipo de indústria em que a mistura de ingredientes torna a flexibilidade dos coeficientes técnicos face à mudança de preços o fundamento de suas fontes de economicidades, o que não pode ser generalizado nem aos setores industriais e nem mesmo para a agricultura.

Evidenciar as limitações do alcance da TII não implica negar, mesmo em um modelo restritivo, os microfundamentos apresentados. O que o trabalho procura mostrar é como esse efeito aparece diluído e subordinado a outros de maior importância, jogando, a nosso ver, por terra, a defesa da TII feita por Stern (1995) em relação aos novos enfoques de crescimento endógeno.

O que fica da observação acima é que o mecanismo microeconômico da TII não prescinde da especificação de uma estrutura prévia de organização da pesquisa, não “escapa” da tarefa de especificar uma certa herança na organização dos níveis e do conteúdo de cada nível de atividade de pesquisa de onde saem as inovações “tipo” dos processos poupadores. Há então um processo endógeno mais amplo, menos controlado do ponto de vista das trajetórias de crescimento das economias que, por seu turno, dificilmente correspondem a trajetórias neutras, e/ou de crescimento equilibrado ou balanceado, aquelas que tratamos no capítulo 2 e de forma mais aplicada ao tema do trabalho no item 3.3.2.

O que a existência da restrição orçamentária da pesquisa traria de novo? Intuitivamente, a restrição impor a definição de prioridades entre atividades poupadoras deste ou daquele fator e, ainda mais, demandaria uma explicação anterior, que desse conta da restrição como resultado de um processo de arbitragem na contratação de recursos humanos (discutiremos a questão da

arbitragem a partir do item 6.1). Todavia, respeitaremos o fato relevante de que a formulação de Binswanger é muito anterior àquelas que tratam desse problema, considerando, então, a restrição como dada, exógena à firma que pesquisa.⁹⁵

O problema da firma maximizadora com pesquisa sob restrição é definido como o valor presente que maximiza instantaneamente a redução de custo operada pelo efeito dos experimentos sobre os coeficientes A e B , associados respectivamente ao capital e ao trabalho, a partir dos níveis A_0 e B_0 , que fornecem as condições iniciais do problema. A necessidade de introduzir um *lag* entre a decisão de gasto de pesquisa e seu efeito não é considerada neste modelo. Como já dissemos, também não são computados os gastos de manutenção do capital, estando todo o fator de desconto (que relaciona valor presente à taxa de juros e duração do efeito de pesquisa T) considerado no cálculo do valor presente do fator trabalho.

O problema torna-se então maximizar

$$V = c_K g_A(m, n) + c_L g_B(m, n) - m.P^m - n.P^n$$

$$\text{sujeito a } m.P^m + n.P^n = F,$$

O valor presente também pode ser expresso em termos dos coeficientes de produtividade da pesquisa e de seu impacto redutor de custo, bastando substituir as taxas de redução de custo por seus valores, como foi apresentado para A em (4.4) e seu correspondente para o coeficiente B . Introduzindo a restrição, obtém-se a solução do problema.

O sistema de equações abaixo representa o problema de maximização da firma que faz pesquisa sob restrição e leva às seguintes condições de 1ª. ordem:

$$\begin{aligned} -mP^m - nP^n + F &= 0 \\ \gamma_m (c_K \lambda_A^m + c_L \lambda_B^m) &= (1 + \mu)P^m \\ \gamma_n (c_K \lambda_A^n + c_L \lambda_B^n) &= (1 + \mu)P^n \end{aligned} \tag{4.10}$$

em que a primeira equações representa a restrição e o termo μ , o multiplicador de Lagrange, o

⁹⁵ Biswanger (1978) considera a possibilidade de que as necessidades de financiamento para pesquisa sejam supridas externamente e propõe um mecanismo simplificado de retro-alimentação dos efeitos da pesquisa sobre o custo do capital. Os resultados não alteram significativamente as conclusões que obtemos neste subitem.

preço-sombra de uma unidade de pesquisa (obtida da média ponderada dos custos das modalidades de pesquisa). Para facilitar os cálculos, considera-se P^m e P^n igual a 1 (padronizando o custo da unidade de pesquisa).

Procura-se então isolar o efeito da variação de uma unidade de pesquisa, o que é obtido com a diferenciação total das equação do sistema representado em (4.10).⁹⁶ Obtém-se o sistema re-escrito na expressão

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & -g_{11} & 0 \\ 1 & 0 & -g_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\lambda^* \\ dm \\ dn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

em que,

$$g_{11} = \gamma_m / \gamma_{mm} < 0 \text{ e}$$

$$g_{22} = \gamma_n / \gamma_{nn} < 0;$$

$$S_0 = dPF - md \ln P^m - nd \ln P^n \text{ e}$$

$$S_1 = \frac{c_K \gamma_m \lambda_A^m}{1 + \mu} d \ln c_K + \frac{c_L \gamma_m \lambda_B^m}{1 + \mu} d \ln c_L - d \ln P^m \text{ e}$$

$$S_2 = \frac{c_K \gamma_n \lambda_A^n}{1 + \mu} d \ln c_K + \frac{c_L \gamma_n \lambda_B^n}{1 + \mu} d \ln c_L - d \ln P^n;$$

$$\text{e também } d\mu^* = d\mu / (1 + \mu) \text{ e } g_{22} = \gamma_n / \gamma_{nn} < 0$$

Os termos g_{11} e g_{22} referem-se à concavidade da curva de resposta do esforço realizado nas modalidades de experimento m e n (a dimensão dos retornos) na obtenção de inovações poupadoras, assumindo sempre valor negativo. Quanto mais côncava essa curva, maior peso é dado às respostas associadas aos menores valores de m ou n . No limite, uma resposta linear, tanto para m quanto para n , deixaria o modelo indiferente em relação a quanto foi gasto, já que as funções escala são iguais, para cada modalidade, quando se trata de A ou B . O resultado seria determinado apenas pelas diferenças dos indicadores de produtividade das modalidades, segundo o coeficiente a ele relacionado, A ou B .

⁹⁶ Apresentaremos os pontos da dedução que consideramos relevantes para a análise. Para a dedução na íntegra ver Binswanger (1978:144 e seguintes). Note que a nomenclatura foi adaptada para permitir um grau maior de padronização entre capítulos da tese.

S_0 mostra o processo de diferenciação da restrição. S_1 e S_2 correspondem, respectivamente: a) à diferenciação total das modalidades m e n de pesquisa; b) ao diferencial produzido por um gasto adicional em m , a partir de um certo nível já alcançado, descontado o efeito preço. Cabe lembrar que o denominador em S_i dá uma idéia aproximada de uma taxa de desconto do impacto marginal do efeito do gasto em m ou n pelo valor marginal (preço-sombra) da pesquisa. Um aumento do preço de pesquisa, intuitivamente (pois não solucionamos ainda o sistema) deve reduzir o esforço de pesquisa, pois afeta a importância de seu impacto.

Existindo a matriz inversa, que capta os efeitos diretos e indiretos sobre as decisões de gasto nas modalidades de pesquisa, tem-se o que nos interessa diretamente, que é a sensibilidade da firma. Resolvido o sistema, substituindo os S_i termos por suas expressões apresentadas a partir de (4.11) obtém-se a expressão do efeito da variação do valor do capital sobre a decisão de realizar o experimento do tipo m , a seguir:

$$\frac{\partial m}{\partial \ln c_k} = -\frac{c_K(\gamma_m \lambda_A^m - \gamma_n \lambda_A^n)}{(g_{11} + g_{22})(1 + \mu)} \geq 0 \quad (4.12)$$

Caso a condição $\gamma_m \lambda_A^m > \gamma_n \lambda_A^n$ seja válida é fácil mostrar que na presença de restrição orçamentária haveria uma relação monotônica entre viés e custo de fatores (Binswanger, 1978:145), que seria o foco da discussão sobre os microfundamentos da TII.⁹⁷

Fica claro que no caso “substituição” a condição acima é sempre válida. Já no caso “puro” é preciso recorrer à condição imposta em (4.6), em que obtendo o valor de γ_m em (4.10), chega-se

a $\frac{1}{c_K + c_L \left(\frac{\lambda_B^m}{\lambda_A^m} \right)} > \frac{1}{c_K + c_L \left(\frac{\lambda_B^n}{\lambda_A^n} \right)}$ que é a mesma condição acima re-escrita para evidenciar que o

efeito direto da indução sempre ocorre, aceita a condição expressa em (4.6). O raciocínio desenvolvido vale também para o efeito da variação do custo do trabalho sobre o experimento de tipo “ n ”.

⁹⁷ Detalhando um pouco os efeitos: quanto maior a concavidade em módulo da curva de resposta do gasto (que também pode ser interpretada como a resposta ao gasto no parâmetro médio de surgimento de inovações) e a importância da restrição, menor a sensibilidade do agente que toma decisões de gasto em uma determinada modalidade à variação do custo do fator. Quanto maior o diferencial entre os efeitos marginais das duas modalidades, dados os níveis m e n de gasto em pesquisa, maior o efeito indutor.

Outro resultado importante desta formulação sob restrição pode ser obtido comparando (4.12) com a expressão relativa ao experimento do tipo “ n ”, chegando a $dm=-dn$, condição que se impõe se os preços das modalidades de pesquisa são iguais (e, obviamente, a fronteira de restrição é atingida). O resultado, segundo Binswanger (1978:145), é que o valor dos efeitos diretos e cruzados coincide em módulo. Isto cria uma situação particular (apesar de poder-se considerar a presença de restrição orçamentária um caso mais freqüente) em que “existe uma relação monotônica entre viés e custo dos fatores”, um aumento no custo do componente do trabalho leva a um viés poupador de trabalho e o mesmo vale para o capital.

A prova é simples: partindo da expressão (4.9) e utilizando a informação de que se $dm=-dn$, então isto também iguala os impactos diretos da variação do valor do capital a um igual efeito, só que de sinal contrário, do efeito cruzado, do aumento do valor do trabalho sobre o experimento “tipicamente” poupador de capital. Isto permite simplificar (4.9), o que é resultante da presença da restrição F . Tem-se então:

$$\frac{\partial Q}{\partial \ln c_K} = \left(\frac{\partial Q}{\partial m} - \frac{\partial Q}{\partial n} \right) \frac{\partial m}{d \ln c_K} \quad (4.13)$$

que expressa o que Olmstead e Rhode (1993) denominam o “*change effect*” do sistema de preços sobre o processo inovativo, que discutimos no início. Uma vez que o termo entre parênteses é sempre positivo e sendo o efeito direto da variação do valor do capital sobre a pesquisa do tipo “ m ” positivo, está garantida a presença do viés induzido. No caso em que o gasto em uma linha dá-se às expensas de outro, mesmo no caso do efeito puro.

Mas há um comentário fundamental, que confirma a hipótese deste trabalho de que a TII depende de uma estrutura prévia, conhecida, para que estes efeitos sejam captados: um aumento brusco no valor do orçamento de pesquisa não tem um efeito neutro, tudo o mais constante, pois dada a presença de retornos fortemente decrescentes em certas linhas, a pesquisa passa a ser direcionada para as linhas que antes foram negligenciadas. Isto tem importância na crítica à concepção básica da TII que envolve privilegiar, mesmo em um contexto necessariamente dinâmico, o funcionamento do sistema de preços como garantia da eficiência alocativa, agora tomada em termos de efeitos neutralizadores da presença de viés.

Resumindo, os microfundamentos da TII são construídos a partir da tomada de decisão por parte dos agentes de quanto de gasto devem efetuar com as modalidades de pesquisa, dada

uma estrutura de produtividades esperadas (racionalmente antecipadas ou mesmo, conhecidas com base na experiência passada – de forma procedural) e da relação entre elas. Sob restrição orçamentária, obtém-se uma relação monotônica entre custos dos fatores e viés, caracterizando microeconomicamente o efeito indutor.

Os microfundamentos apresentados referem-se ao *change effect*, estando pois limitados a um tipo contínuo de inovações, ainda que no modelo exista um único período T, de duração variável, que permite esgotar o orçamento de pesquisa (restrito ou não) em suas modalidades poupadoras, segundo a sinalização dada pelos custos de fatores).

Dois pontos permitem estabelecer uma ligação entre os microfundamentos apresentados:

a) A necessária definição da relação entre produtividades (forte ou fraca) das modalidades de pesquisa está fortemente ligada à idéia de possibilidades de inovação e de uma fronteira de possibilidades inovativas interior a FPI, em função da presença de custos de pesquisa e, logicamente, de um processo decisório por parte dos agentes. Desse ponto de vista, os microfundamentos definidos acima não qualificam de forma adequada a natureza da estrutura de produtividades, o que torna a TII uma teoria bastante limitada do ponto de vista do crescimento econômico (restando discutir a hipótese de sua superioridade, defendida por Stern, 1995);

b) Desdobrando o argumento, deve-se explicitar a forma de inserção do agente inovador na economia, preenchendo um fosso entre as concepções macro e micro, que permanece. O capítulo a seguir não visa a suprir esta falha, mas mostrar como os desenvolvimentos recentes relacionados ao tema da inovação e crescimento preocupam-se em explicitar as razões determinantes do investimento em pesquisa e seus efeitos no crescimento e a importância do processo concorrencial, ou seja, como as estruturas de mercado interferem e interagem na definição do processo de decisão dos gastos inovativos, e conseqüentemente, na apreciação da TII e de seus microfundamentos.

Só para exemplificar a influência da estrutura de mercado, tomemos o caso de um agente monopolista que produz um equipamento para uso dos agricultores. Sua capacidade de perceber o efeito dos custos de fatores (e do viés) é derivada da percepção dos agricultores, se a inovação for fundamentalmente no produto (*novo design, por exemplo*) e diretamente relacionada ao produtor industrial (que pode inclusive contratar os serviços de uma firma inovadora) se tratar de uma

inovação em processo, sendo que então seria o aumento do custo do fator na produção industrial o elemento relevante.

Binswanger (1978), tratando do caso em que o progresso técnico vem incorporado pelo trator, percebe que o interesse do agente inovador pode não ser totalmente alinhado com os interesses dos consumidores. Propõe então que quanto maior o grau de monopólio do inovador, maior sua capacidade de indução de viés utilizador do fator no qual o produto que ele vende é mais intensivo; por exemplo, é o caso da indústria de tratores, cujo produto final fornece um *input* intensivo em capital (e que intensifica k ou v) na agricultura. Tal resultado parece confundir inovação tecnológica com difusão (ponto ressaltado por Silveira & Salles-Filho, 1990).

O efeito do monopólio sobre o viés depende da elasticidade de substituição entre o bem que o monopólio produz (e que contribui predominantemente para uma modalidade de mudança tecnológica) e outros *inputs* utilizados na agricultura e a elasticidade do produto. No caso de coeficientes em proporções fixas na agricultura (o que é pouco realista), o aumento do preço do capital, em um modelo simplificado (efeito ortogonal), induziria na indústria a pesquisa poupadora de capital, sem interferência do poder de monopólio. Um aumento do preço do trabalho, por seu turno, induziria a difusão do uso do capital, tomando o poder de monopólio como dado.

Quanto maior a elasticidade de substituição do trator por trabalho, por exemplo, em relação à elasticidade do produto, para um dado grau de monopólio, maior o poder indutor da empresa no caso de um aumento do salário. Estamos novamente falando em difusão de uma inovação já criada na indústria de tratores- incorporada - na agricultura. O inverso, todavia, é confuso do ponto de vista da TII. Um aumento do preço do trator na agricultura (devido a um aumento de custos em geral na indústria), caso a elasticidade de substituição do capital pelo trabalho fosse elevada (maior que a elasticidade da produção), reduziria a aquisição de tratores e “induziria” uma pesquisa redutora de custos, que dependeria das modalidades disponíveis na indústria.

Note que aumentar a eficiência do trator em h_a/trator é que define modalidade de pesquisa poupadora de trabalho na agricultura, ainda que não se possa saber, sem o conhecimento da indústria, que modalidades de experimento tal inovação demandaria. Já a introdução de novos materiais poderia ser poupadora de capital na indústria (insumindo trabalho qualificado, capital

humano) e poupadora de trabalho e capital na agricultura (o que dependeria da estrutura de produtividade das modalidades). Essas conjecturas, originadas da interface entre os efeitos de indução, aumentam em proporção ao grau de desagregação das modalidades de pesquisa, enfraquecendo os microfundamentos apresentados.

O capítulo que se segue trata como a literatura atual daria pistas para esses problemas, sem procurar argumentos para uma defesa da TII. Ao menos buscaremos elementos para fortalecer ou enfraquecer a sugestão dada por Ruttan e Hayami (1995) de que a TII poderia incorporar elementos das novas teorias de crescimento endógeno. Nos três modelos apresentados dois elementos debatidos neste capítulo recebem destaque, um relacionado às decisões de gasto em P&D e outro relativo à relação entre setores, o que pressupõe a explicitação dos critérios de construção da estrutura de relacionamento entre eles.

5 Modelos de crescimento com inovação endógena: modelos horizontais

Equation Section (Next)

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os elementos básicos de algumas formulações denominadas de “crescimento endógeno”, fundamentalmente para mostrar como esses modelos deslocam o foco das modalidades de inovação (poupadoras de fatores) para a explicação da presença de rendimentos crescentes associados a decisões endógenas de inovação e como isso poderia estar associado a trajetórias de crescimento. A ênfase é colocada nas decisões que levam à geração de inovação e nos fatores de transmissão dos resultados da inovação para o crescimento, sem dar especial atenção a mecanismos que controlam *ex-ante* (no processo de tomada de decisão sobre quanto inovar e em que modalidades) as modalidades de inovação e seus efeitos.

Não há, pois, uma preocupação específica em associar escassez e “trajetórias” tecnológicas, ainda que essa associação derive de uma intuição quase de senso comum. Há a percepção de que o fundamental do processo inovativo é permitir a apropriação de lucros de monopólio pelo inovador e que esse estímulo “schumpeteriano” é o elemento central no processo de crescimento.

Cada modelo acentua os aspectos que considera mais importantes na determinação da relação entre inovação e crescimento. Um ponto de contato de nossa análise com a TII está em mostrar como esses diferentes modelos estão de alguma forma relacionados a processos que envolvem algum tipo de viés que lhes é característico, o que significa considerar a hipótese central da TII pouco relevante para a análise dos processos de crescimento, mesmo aqueles de natureza estacionária.

A inclusão dos modelos horizontalizados de crescimento endógeno tem como objetivo principal preparar a leitura dos modelos chamados “schumpeterianos”, que são o foco deste capítulo e principal fonte para a discussão crítica da TII. Mostra-se como a simples criação de variedade pode ser um elemento determinante do crescimento (não tão importante quanto os formuladores desses modelos gostariam). Nesses modelos, a inovação criadora de variedade é intensiva em capital humano e, por isso mesmo, os modelos não privilegiam qualquer modalidade de inovação. A busca por variedade está diretamente associada à incorporação de capital humano.

O que vale é que o mecanismo gerador é diferente do proposto pela Teoria da Inovação Induzida: ganhos de monopólio com a inovação geram efeitos de transbordamento associados à criação de variedade que beneficiam uma gama muito mais ampla de agentes econômicos do que os que foram incentivados por esses ganhos.

Esse item inicial está baseado nos trabalhos de Almeida (1996), Higachi (1998), Aghion e Howitt (1998), Howitt (1999) e na análise original do problema feita por Romer (1990a, 1990b), trabalhos que por seu turno fundaram-se na formulação pioneira de Young (1928) e de Dixit & Stiglitz (1977) sobre variedade e concorrência monopolista.

Os avanços significativos produzidos por estes modelos - não só os focalizados neste item, mas os desdobramentos realizados na presente década - referem-se aos pressupostos e à forma de modelar o sistema. Sendo constante a relação entre o capital humano e o crescimento populacional - a acumulação de capital humano depende diretamente do número de pessoas, é indivisível deste ponto de vista - sua simples acumulação não resulta em crescimento (isto foi apontado no item 2.1.2)⁹⁸.

A relação entre acumulação de capital humano e crescimento precisa então ser qualificada pelo estudo de seu impacto, seja na criação de variedade, seja no processo inovativo. Iniciamos pela versão estilizada do modelo horizontalizado, que pressupõe que a criação de variedade, engendrando rendimentos crescentes, tem impacto positivo sobre o processo de crescimento.

Uma observação crítica que se aplica a esses modelos está na suposição de certa homogeneidade do capital humano e a ausência de problemas contratuais envolvendo a atividade de P&D e as empresas e corporações. Há um número crescente de estudos mostrando como distintas origens de pesquisadores têm relação com sua forma de inserir-se na economia e como essas diferentes formas estão relacionadas aos mesmos problemas microeconômicos apontados pelas variadas vertentes institucionalistas.

Um bom exemplo é dado pelos resultados obtidos por Audretsch e Stephan (1999), que mostram que pesquisadores universitários mais experimentados na *Bay Area* de São Francisco são mais propensos a fazer ofertas públicas em busca de capital de risco para pequenas empresas

⁹⁸ Jones (1995a), ao neutralizar o efeito escala gerado pela diversidade, procura mostrar que o crescimento populacional é o único fator determinante do crescimento de longo prazo. Seu trabalho pode ser considerado uma crítica à versão "horizontalista" que vamos apresentar.

inovadoras em biotecnologia que pesquisadores mais jovens, com o título de *PhD* adquirido há menos de 10 anos. Esse exemplo é ilustrativo da importância dos diferentes arranjos institucionais no direcionamento da pesquisa e de seus resultados prováveis.

Esse comentário crítico também pode ser aplicado à Teoria da Inovação Induzida, pois a organização da atividade de pesquisa e sua relação com o ambiente social que recebe o impacto inovativo configuram estruturas de complexidade crescente (Ruiz, 1999), que tornam pouco provável que a decisão de pesquisadores, recebendo apenas informações de preços de fatores, seja determinante do tipo de trajetória tecnológica predominante na economia.

5.1 Elementos básicos do modelo horizontalizado

Antes de apresentar o modelo, vale a pena tratar certas questões que envolvem a discussão dos modelos de crescimento endógeno. Um aspecto novo em relação à safra de modelos que tentaram endogeneizar os determinantes do crescimento (os da TII incluídos) está no tratamento dado ao problema da distribuição. Se para uma dada uma função $F(.)$ de produção, K e L têm rendimentos constantes e existe um termo “ A ” endógeno, que contribui para o crescimento à medida que agentes tomam decisões para tanto, este último fator tem que ser remunerado e, neste caso, o teorema de Euler-Wicksteed não mais se aplica.

Uma das soluções é supor que K e L continuem a receber seus produtos marginais, porque no equilíbrio competitivo não há remuneração adicional para o termo A da função $F(.)$. Então, como o crescimento de A ocorreria? Bastaria supor, de forma compatível com a visão de externalidades, uma relação entre produção e aprendizado com efeitos “externos à firma”. A justificativa para que A fosse considerado um termo endógeno é que este parâmetro estaria sendo afetado, por exemplo, por uma aumento da propensão a poupar (ver capítulo 2).⁹⁹ O modelo a seguir mostra uma solução diferente para o problema, contribuindo para superar uma das mais sérias limitações, inclusive do modelo da TII, que é o desconsiderar a presença de rendimentos crescentes nas economias modernas.

Inicialmente a economia é dividida em dois setores: um setor produtor de bens intermediários e um setor de bens finais. O setor produtor de bens intermediários é monopolista e

⁹⁹ A solução encontrada por Arrow(1962) pressupõe uma relação fixa K/L e, para cada “safra”, exigências fixas de trabalho. Com isso, o crescimento no longo prazo dependeria apenas do crescimento do trabalho e seria independente do esforço de poupança, distinto do resultado obtido a partir do modelo S-S, na forma desenvolvida no item 2.1.2.

beneficiário de inovações. Produz localmente um bem intermediário (também considerado como um bem durável) diferenciado. Quanto maior o número Q , máximo de bens em cada instante t , menor o intervalo entre estas diferenças, gerando-se um contínuo de bens no intervalo $[0, Q]$ ¹⁰⁰

Há aqui um contraste claro com a formulação “neoschumpeteriana”, que é certamente uma referência fundamental para quaisquer outras teorias da inovação¹⁰¹: o processo inovativo, a despeito do pressuposto de concorrência imperfeita, que implica ganhos de monopólio, não leva à concentração industrial e sim ao aumento do número de mercados específicos, localizados, ou seja, produz um aumento da variedade na economia, associada a uma variedade de monopolistas locais (para simplificar, as versões do modelo supõem uma firma - um produto).

Essa concepção horizontal está também diretamente associada à forma de tratar o capital. O capital total é uma medida contábil da renúncia do consumo e este agregado pode ser repartido em um número de bens intermediários, segundo um fator de conversão η , que dá a medida do custo de produção dos bens intermediários (apresentaremos os detalhes no próximo subitem). Tal concepção ressalta o aspecto de rivalidade do bem intermediário em relação ao trabalho, na função de produção de bens finais. Esta rivalidade deve contrastar com o caráter de não-rivalidade contido na obtenção de variedade que, como acentua Romer, está intrinsecamente ligado à contribuição não sujeita à depreciação do processo inovativo. O bem final é produzido por trabalho e pelo bem intermediário (uma forma que corresponde à idéia de verticalização da produção).

A versão Cobb-Douglas, condensada, é a seguinte:

$$Y = L^{1-\alpha} \int_0^Q x_i^\alpha d_i \quad (5.1)$$

em que Y é o produto, L representa o estoque de trabalho e x_i os bens intermediários produzidos em cada i -ésimo setor.

Nesta versão, a produção de bens finais é resultado de um processo de divisão de trabalho que viabiliza a produção de um número crescente de bens intermediários. Esta poderia ser uma

¹⁰⁰ O capital físico neste tipo de modelo não deve ser tomado como um insumo homogêneo e sim como um conjunto contínuo de bens duráveis, transformando variáveis discretas em contínuas. É um recurso utilizado também em modelos evolucionistas como em Canuto (1998).

¹⁰¹ Referimo-nos aos trabalhos de David (1975); Nelson & Winter (1982); Dosi (1986); Metcalfe (1997); Possas *et alii* (2000), entre outros.

definição alternativa do modelo *AK*, apresentado em 2.2, com a diferença fundamental de que a busca de intermediários é intencional, faz parte dos microfundamentos do modelo de crescimento.¹⁰²

Outra forma funcional é apresentada por Romer (1990b) e permite que o parâmetro relacionado à elasticidade de substituição seja constante e diferente de 1;

$$Y(H, L, x) = g(H, L) \sum_{i=1}^{\infty} x_i^{\varphi} \quad (5.2)$$

em que $g(H, L)$ assume a forma CES abaixo:

$$g(H, L) = [\alpha H^{\beta} + (1 - \alpha)L^{\beta}]^{1 - \varphi / \beta}, \beta \in (-\infty, 1) \quad (5.3)$$

β é o parâmetro relacionado à elasticidade de substituição e α é parâmetro de distribuição.

Aparece na expressão (5.3) o termo H relacionado ao capital humano. Trata-se de um conjunto heterogêneo de trabalhadores e cujo montante global aparece definido segundo alguma medida característica (número de indivíduos com curso superior, horas de estudo) que os diferencia do trabalho não-qualificado.

O ponto comum às expressões (5.1) e (5.2) está na forma de representar o capital físico, seja ela contínua ou discreta. O capital físico aparece de forma distinta daquela definida nas funções de produção convencionais, uma vez que a contribuição de cada bem durável é potencializada pelo parâmetro φ correspondente e seus efeitos somam-se ao de outros bens duráveis.

A versão condensada deixa evidente o papel da criação de variedade no crescimento. Para Romer (1990b:343): “é importante diferenciar o crescimento no capital total proveniente da adição de novas unidades dos bens duráveis resultantes do crescimento decorrente do surgimento de novos tipos de duráveis”. Este segundo tipo é o fator gerador de rendimentos crescentes.¹⁰³ Mantendo a hipótese de rendimentos decrescentes decorrentes do primeiro tipo de acumulação de capital (novas unidades de bens duráveis), chega-se a uma forma da função de produção

¹⁰² Cabe um comentário sobre a função de produção: o problema básico do uso de funções mais flexíveis está no grau de dificuldade na obtenção de uma solução referente ao capital humano dirigido à pesquisa.

¹⁰³ Essa diferenciação aparece em quase todos modelos que buscam tornar endógenos os parâmetros de crescimento.

homogênea de grau 1 para a produção de bens finais combinada com a presença de rendimentos crescentes propiciados pela geração contínua de variedade.

A formulação explicitada em (5.2) permite considerar os casos em que a mobilidade entre capital humano e trabalho seja limitada, que apresente uma elasticidade de substituição menor que a unidade.

Até aqui a formulação não traria qualquer explicação sobre o processo de inovação. Como a variedade é gerada? Quais as motivações para a realização da pesquisa? Que implicações têm para o processo de crescimento? É preciso introduzir mais um setor cujas características sejam parte da explicação do crescimento endógeno: trata-se do setor de pesquisas, que está verticalmente articulado ao setor produtor de bens intermediários, o que é enfatizado na forma condensada apresentada em (5.1).

O processo é representado de maneira bastante simples pela relação linear entre a taxa de crescimento do fator Q , g_Q , e o estoque de capital humano disponível para pesquisa, H_A ; γ é a constante que garante a linearidade. Tem-se pois:

$$g_Q = \gamma H_A \quad (5.4)$$

Isto de início implica ou alterar a forma condensada, abrindo a possibilidade de que o trabalho seja dirigido parte para a produção de bens finais e parte para pesquisa, ou seja, $L=T+n$, ou aceitar um nível maior de desagregação correspondente à introdução desse terceiro setor, o produtor de pesquisas, e assumir que este utiliza apenas capital humano acumulado, com uma parte dele sendo dirigida para pesquisa. A forma condensada da função de produção apresentada em (5.1) teria T no lugar de L e a parcela n , composta apenas do capital humano na pesquisa, seria o equivalente ao que em (5.4) chamamos de H_A .¹⁰⁴

Vejamos como a noção de rivalidade¹⁰⁵ é importante na formulação de crescimento endógeno apresentada. Ela aparece de duas formas: a primeira é estabelecida pelo uso rival entre o trabalho e o capital humano. Isto aparece nitidamente em (5.3). A segunda, pelo uso rival de

¹⁰⁴ Estes detalhes são interessantes para ilustrar melhor a forma de verticalização entre setores adotada pelo modelo. Isto pode ser feito por comparação entre as formulações. No próximo subitem seguiremos a formulação e a notação de Romer (1990b), por enfatizar com mais clareza a natureza das distintas rivalidades envolvidas no processo. Howitt (1999) apresenta outra versão do modelo horizontalizado. Alguns aspectos de sua formulação foram incorporados em nossa versão.

bens dos componentes do capital humano; ou, na formulação condensada, entre capital humano direcionado à pesquisa e direcionado ao trabalho na produção de bens finais.¹⁰⁶

Pode-se discutir como a decisão de direcionar parte do capital humano para a pesquisa tem implicações no crescimento e estabelece a conexão entre uma decisão de uso de bens rivais para gerar bens não-rivais (que são bens que não se depreciam, pelo menos neste modelo básico, horizontalizado). Romer (1990b) adverte que a equação (5.4) não exprime a noção de *spill over* como tratada em Arrow (1962) ou nos modelos atuais de *learning by doing* (LBD, daqui para frente) e sim uma concepção do processo associado diretamente à idéia de não-rivalidade do uso do bem tecnológico, materializado tanto no efeito variedade dos bens intermediários quanto no seu papel de “inspirador” de novas pesquisas (ou de novos *designs*, na formulação de Romer). Esta não-rivalidade é, pois, responsável pelo efeito do crescimento captado pelo fator Q , ou melhor, por sua taxa de crescimento.¹⁰⁷

Três pontos devem ainda ser tratados antes da apresentação de uma das soluções possíveis para o modelo: a) a estrutura de mercado de cada um dos segmentos e sua justificativa; b) a linearidade da relação entre g_Q e H_A , que faz o modelo ter pontos de contato com o modelo AK; c) o significado preciso do parâmetro γ , que é tratado com superficialidade na maioria dos trabalhos citados.

Todos os mercados são tomados como concorrenciais, à exceção do produtor de bens intermediários (ou duráveis). A definição do preço dos bens intermediários, $p(x)$, resulta da igualação entre Receita marginal e Custo marginal e, por conseguinte, na imposição de um certo “*mark up*”. Qual a justificativa para tal organização das estruturas de mercado que são articuladas verticalmente? Por que o setor produtor de intermediários tem o poder de monopólio sobre os produtos que incorporam as inovações geradas no setor de pesquisa? A resposta tem que estar ligada ao estímulo à atividade de pesquisa, mas também às vantagens propiciadas pela posse de

¹⁰⁵ Ver Almeida (1996) para uma explicação clara dos conceitos de (não) rivalidade e excludabilidade.

¹⁰⁶ Tal conceituação também estará presente nos modelos “schumpeterianos”.

¹⁰⁷ Isto não significa que o efeito de *spill over* derivado da LBD não possa existir. Para o modelo, reafirmamos, o importante é ressaltar a intencionalidade da busca por inovações.

um novo bem intermediário (por exemplo, um novo *design*) e não à funcionalidade desta construção para o problema dos rendimentos apontados no início deste subitem.¹⁰⁸

O setor de pesquisa é competitivo em função da rivalidade presente entre o uso de capital humano na produção de bens intermediários e de pesquisa. Essa rivalidade leva a um processo de arbitragem, que é plenamente compatível com o pressuposto de estrutura de mercado competitiva. O processo de arbitragem eliminaria lucros monopolistas no setor de pesquisa, mas não impediria o monopólio local do produtor de bens intermediários. É possível também considerar o setor de pesquisa como dependente das decisões de contratação por parte do produtor de bens intermediários. Mesmo o modelo sendo horizontalizado do ponto de vista do tipo de inovação gerada, trata-se de uma versão verticalizada das relações entre setores.¹⁰⁹

A estrutura de mercado do setor produtor de bens intermediários é caracterizada como monopolista pelo poder de mercado que a construção de um novo *design* propicia a seu detentor.

¹¹⁰A novidade permite que o produtor imponha ao setor de bens finais um preço que corresponde a um nível de apropriabilidade que é caracterizado como parcial, configurando um poder de “exclusão parcial” (*partially excludable*) quanto ao acesso do bem. Isto ocorre uma vez que é possível manter um certo nível de exclusão do acesso ao bem inovador sem evitar a atividade de “inventar em torno”, cópia, ou mesmo inspiração.¹¹¹ A forma de imposição do poder de monopólio local aparece na forma de patentes, mas poderia também se originar de práticas monopolistas relacionadas ao estabelecimento de contratos de fornecimento restrito (como no caso da indústria de sementes).

Esta versão horizontalizada do processo de modernização impõe que haja livre entrada na indústria. Qualquer um que seja capaz de produzir um bem intermediário diferenciado (novo) pode fazê-lo sem que haja barreiras à entrada e, principalmente, devido a limitações impostas

¹⁰⁸ Binswanger (1978:36, nota 40), ao comentar o engenhoso modelo de Consalick, alerta para o erro de construir modelos logicamente consistentes com base em artifícios.

¹⁰⁹ Isto não implica desqualificar a questão extremamente importante da relação entre as diferentes estruturas de governança da atividade de pesquisa e seu desempenho, o que inclui toda a discussão sobre redes de pesquisa (Ruiz, 1999) e a relação entre as formas de financiar a pesquisa e sua organização, assunto tratado por Aghion & Howitt (1998, caps. 13 e 14).

¹¹⁰ Um contraponto a esta visão é apresentado por Archangelli e Canuto (1996) que questionam a utilização do modelo de competição monopolística com base nos trabalhos de Chamberlin e Joan Robinson, uso tornado pioneiro pelo artigo de Dixit & Stiglitz (1977).

pela demanda. Neste sentido, o modelo de crescimento é de longo prazo, não estando interessado na discussão de ciclos ou de fenômenos conjunturais sobre a viabilidade da introdução de variedade.

As considerações feitas, todavia, não explicam de onde se originam as rendas de monopólio, o que significa colocar o problema do ponto de vista da teoria da distribuição (como seria a remuneração dos fatores?). Sua explicação estaria na existência de custos fixos associados à produção dos bens intermediários, que é determinada pela presença de retornos crescentes à escala no setor.

Detalhemos mais este ponto. A equação (5.3) que representa a sub função $g(H,L)$ apresentaria rendimentos $1-\varphi$, permitindo que a função Y , em (5.2), apresente rendimentos constantes à escala. Isto corresponderia à idéia de que o crescimento associado unicamente à intensificação do uso de fatores (inclusive x_i) apresentaria rendimentos decrescentes, o que também caracterizaria rendimentos decrescentes do capital K , na função de produção agregada. Os rendimentos crescentes seriam originados do fluxo não depreciável (nesta versão horizontalizada) de serviços fornecidos pelos bens intermediários, ou seja, uma mesma base de recursos retirados do consumo permitiria estabelecer um *trade off* entre intensificar simplesmente o uso de capital ou aproveitar a base fixa de recursos (considerando os *sunk costs* da atividade de pesquisa) para gerar uma maior variedade de bens.

A estrutura de mercado monopolista é, portanto, compatível com a livre entrada (que cria variedade) e com o fato de os fatores K e L não serem mais remunerados segundo o valor de suas produtividades marginais. Esses fatores recebem menos do que conduziria a uma decisão de crescimento em equilíbrio compatível com o caso socialmente ótimo¹¹², diferentemente do que ocorre no modelo de Binswanger (1978). Estariam explicados então, tanto o efeito dos bens intermediários no crescimento (como causa central do crescimento endógeno) e a possibilidade de estabelecer trajetórias de crescimento balanceado como solução do modelo.

¹¹¹ Romer (1990a e 1990b) baseia-se na atividade de produção de novos *designs*, mas tal argumento poderia ser aplicado perfeitamente ao caso da geração de novas variedades de sementes, em que existe tanto o efeito "variedade"(sem trocadilhos) quanto um efeito de progressão. Ver Silveira (1985).

¹¹² A discussão sobre a percepção diferenciada entre o agente privado e aquela que seria correspondente a uma alocação do ditador esclarecido é tratada por Lucas (1988), que discute o problema em termos comparativos. Do ponto de vista específico do modelo que estamos estudando, ver o artigo de Benassy (1997).

Passemos ao segundo ponto: a relação entre o coeficiente Q e o estoque de capital humano alocado na pesquisa, apresentado em (5.4), é o que chamamos de equação de *spill over*. Esta fórmula mostra que a atividade de pesquisa é fortemente intensiva em capital humano. Todavia, tem um pressuposto bastante restritivo de que o capital humano na produção não interfere nas atividades de pesquisa - o que seria uma concepção, desse ponto de vista, anterior àquela contida no modelo formulado por Kline & Rosenberg (1986), que esquematiza os efeitos de retroalimentação entre diferentes atividades de pesquisa e as atividades produtivas.

Mostra também que esta relação é linear, o que invoca o modelo *AK*. A diferença que permitiria superar a crítica de Jones (1995a,b) sobre a não verificação empírica da relação linear entre produto e capital estaria na endogeneidade da decisão de alocar H_A . A linearidade seria uma escolha simplificadora, que facilitaria o estudo das propriedades de crescimento em condições de crescimento balanceado.¹¹³

Haveria outro ponto crítico: na medida em que não se impõe *a priori* uma restrição para o crescimento de H_A (ela aparece como uma condição de transversalidade em um problema de maximização intertemporal sob a suposição de crescimento balanceado, como veremos à frente), ele originaria problemas crescentes de coordenação. Em outras palavras, o efeito propiciado pelo conhecimento que se acumula nos artefatos resultantes do processo de inovação encontraria dificuldades crescentes para sua difusão, ou seja, para atingir os diferentes produtores de bens intermediários.¹¹⁴

Esta formulação suporia que as oportunidades tecnológicas continuariam emergindo com certa regularidade e que não haveria razão para supor que mudanças no valor de A em um futuro distante teriam efeito nas equações que compõem o modelo. Esta análise contrasta com a suposição de esgotamento em um período, do impacto da pesquisa (assumida por Evenson & Kislév, 1974; Binswanger (1978) e Evenson, 1998), ponto importante para a comparação feita ao final do presente capítulo.

¹¹³ No próximo subitem ficará claro que a condição de crescimento balanceado do produto impõe a condição de que $g_A = g_Y$.

¹¹⁴ O aumento de H_A levaria ao aparecimento de sérios problemas de coordenação no processo de apropriação pelos agentes do conhecimento acumulado. Isto obviamente é o campo de discussão da cooperação e das economias de rede em pesquisa. Para uma discussão sobre redes e cooperação ver Ruiz, (1999). Para uma discussão aplicada ao caso da biotecnologia, ver Bonacelli e Salles Filho (1998). Ver Audretsch & Stephan (1999) quanto à questão da mobilidade de diferentes tipos de capital humano na biotecnologia.

Passemos à terceira e última questão antes de apresentar uma solução para o modelo de crescimento endógeno: o significado do parâmetro γ . Trata-se de um fator de produtividade. Dada a linearidade da relação apontada em (5.4), γ seria um parâmetro estável ao longo da trajetória de crescimento da economia, bastando, então, conhecer o que determina seu valor.

5.2 Uma versão simplificada do modelo de crescimento horizontalizado

Apresentamos a seguir de forma resumida os principais aspectos do modelo Romer (1990a).¹¹⁵ Partindo do que foi visto antes, dividimos o capital humano total, dado por H_0 , em duas modalidades: H_y , aplicado na produção de bens finais e H_A , dedicado ao setor de pesquisa. Uma forma simplificada de exprimir a rivalidade das duas modalidades é fixar o capital humano total, H_0 .

$$H_0 = H_A + H_y \quad (5.5)$$

Assumindo, para simplificar, uma função de produção do tipo Cobb-Douglas pode-se ainda assim manter a noção de capital desagregado em “bens duráveis” necessários à produção, com pesos específicos relativos às contribuições de cada um (sem que isto signifique que sejam remunerados segundo sua contribuição marginal, como vimos). No caso, adotaram-se pesos iguais para os diferentes bens intermediários que substituem o capital físico na função de produção e assumiu-se que o efeito de cada um se adiciona ao do outro, o que capta o efeito variedade, justificando o nome “horizontalizado” dado ao modelo. Isto está expresso na equação abaixo:

$$Y = H_y^\alpha L_0^\beta (x_1^{1-\alpha-\beta} + x_2^{1-\alpha-\beta} + \dots) \quad (5.6)$$

Nessa apresentação L_0 também indica um montante fixo de trabalho não qualificado, o que significa que não há substituição deste tipo de trabalho por trabalho qualificado (que compõe o estoque total H_0 de capital humano). Considerando os termos x_i como um *continuum* de bens, a função de produção torna-se

$$Y = H_y^\alpha L_0^\beta \int_0^Q x_i^{1-\alpha-\beta} di \quad (5.7)$$

¹¹⁵ As passagens matemáticas foram adaptadas ao padrão de símbolos utilizado no texto a partir do próprio trabalho de Romer, citado; de Almeida (1996) e também em Chiang (1992:264-274).

A suposição de simetria do equilíbrio e estacionaridade do modelo leva a supor que exista um nível médio de gasto com bem intermediário para todos os produtores e que não varia com o tempo.

A forma de atribuir um preço aos “bens duráveis”(ou bens intermediários) parte do conceito contábil de que eles não são mais que um adiamento de consumo. Isso facilita a idéia de verticalização dos setores, mas sem perder a noção de que a variedade de x_i disponíveis, $i < Q$, é que determina o progresso tecnológico e o crescimento. O número de setores intermediários, Q , portanto é que capta os efeitos crescentes à escala. Logo, dado o montante de capital K (a renúncia agregada ao consumo e que está sujeito a uma trajetória ótima de acumulação),¹¹⁶ pode-se obter o nível de produção de bens intermediários:

$$\bar{x} = \frac{K}{\lambda Q} \quad (5.8)$$

em que λ reflete a taxa de transformação do capital físico em bens duráveis.

Substituindo (5.8) em (5.6), resulta a função de produção agregada, em que 4 tipos diferentes de *inputs* estão presentes: H_y , capital humano na forma de trabalho qualificado; L_0 , trabalho não qualificado; K , capital físico e; Q , um “índice” associado à idéia de variedade. O tratamento da tecnologia re-introduz no modelo o parâmetro A , que pressupõe um processo cumulativo de conhecimento, do tipo do apresentado na expressão de *spill over* (5.4), e que mostra que a taxa de crescimento do parâmetro tecnológico depende da quantidade de capital humano alocado pela sociedade em pesquisa. A equação indica que o parâmetro tecnológico, no caso A , cresce sem limitações.

Tem-se então que

$$Y = (H_y A)^\alpha (L_0 Q)^\beta K^{1-\alpha-\beta} \lambda^{\alpha+\beta-1} \quad (5.9)$$

De forma semelhante ao que foi feito no item 4.2, a função de produção expressa em (5.9) permitiu introduzir o parâmetro tecnológico tal como na forma “*labor augmenting*” e “*capital augmenting*”. Seu uso aqui refere-se à existência de um *trade-off* entre bens rivais relacionados a uma opção de inovar: o capital humano e o trabalho. Outro ponto de contato com a TII é que este processo é *Harrod-neutro* e isto é um resultado e não um pressuposto da formulação. Lembremo-

nos da observação de Binswanger, já mencionada, de que a TII não impunha nenhuma trajetória *Harrod-neutra*, mas não nos esqueçamos que no mesmo capítulo chegamos à conclusão que o mecanismo estável de indução, levando a uma situação poupadora de trabalho, era compatível com a situação *Harrod-neutra*.

A formulação obtida é compatível com a idéia de crescimento sustentado, que é a exigência básica da noção de crescimento endógeno. Segundo Chiang (1992) e também Almeida (1996), o modelo não precisa ser definido em termos *per capita*, pois as variáveis exógenas - especificamente o crescimento populacional - são tomadas como constantes.

Apresentaremos a seguir a solução obtida e as propriedades do modelo no estado estacionário.¹¹⁷ O problema do consumidor é definido de forma bastante usual utilizando uma função utilidade com elasticidade constante (ver item 2.1.2). O problema intertemporal do consumidor fica então definido por:

$$\text{Max} \int_0^{\infty} \frac{C^{1-\sigma}}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt, \text{ sendo } 0 < \sigma < 1.$$

sujeito às seguintes restrições

$g_Q = \gamma H_A$, que é a expressão (5.4) da acumulação "tecnológica", aqui dada pelo aumento da variedade, ou equação de *spill over* (que pode ser interpretada em um sentido mais amplo, tecnológico);

$$I = \frac{dK}{dt} = Y - C, \text{ que é a equação do capital produtivo total;}$$

$Q(0) = Q_0$ e $K(0) = K_0$ que exprime a condição inicial do modelo.

Chamamos de ∇ a expressão correspondente a Y , conforme a função de produção apresentada acima, pela expressão (5.9).

A solução é obtida pelo *Hamiltoniano* que exprime o valor corrente do consumo, a partir de duas variáveis de estado, Q e K e das variáveis de controle C e H_A :

¹¹⁶ Basta captar o fluxo do estoque de capital, que é o investimento líquido, de forma que $\dot{K} = Y - C$.

¹¹⁷ Além de Romer, ver Almeida (1996) e Chiang (1992:272-274).

$$V_c = \frac{C^{1-\sigma}}{1-\sigma} + u_Q(\lambda H_A Q) + u_K(\nabla - C) \quad (5.10)$$

Derivando-se em função dos dois argumentos, C e H_A obtêm-se as condições de primeira ordem:

$$\begin{aligned} u_K &= C^{-\sigma} \\ u_Q \lambda Q - u_K \alpha (H_0 - H_A)^{-1} \nabla &= 0, \text{ que resulta em} \\ \nabla &= \frac{u_Q \lambda Q}{u_K \alpha} (H_0 - H_A) \end{aligned} \quad (5.11)$$

A última expressão exprime o resultado da derivada parcial do Hamiltoniano V em relação ao capital humano aplicado à pesquisa. Ele mostra que o produto está na relação direta do capital humano aplicado à produção (o que é claro); também na relação direta da produtividade e na relação inversa do preço-sombra relativo das variáveis de co-estado do modelo, os preços-sombra do capital em relação ao preço do fator tecnológico.

O ponto importante deste resultado está na *trade-off* entre a alocação do capital humano em pesquisa e produção, introduzindo o tema da mobilidade do capital humano como importante para o crescimento. Esse raciocínio ganha consistência quando se associa ao capital humano alocado na produção o efeito de aprendizado (ver Cohen & Levinthal, 1989; Lucas, 1988). O papel do capital humano na inovação é importante não por sua intensificação direta, mas por seus efeitos na relação entre os coeficientes de produtividade do capital e da pesquisa.

Há ainda as equações de movimento das variáveis de co-estado, que são os preços-sombra do capital e do fator tecnológico.

$$\dot{u}_Q = -\frac{\partial V_c}{\partial Q} + \rho u_Q \quad \text{e} \quad \dot{u}_K = -\frac{\partial V_c}{\partial K} + \rho u_K \quad (5.12)$$

em que ρ , como vimos, é o fator de desconto, o que mostra que o movimento dos preços-sombra depende de seu valor presente. Dele, subtrai-se o efeito da variável de estado a ele correspondente, no valor do *Hamiltoniano*. No caso do preço-sombra relativo ao capital, ele cresce com o maior valor presente do capital e decresce com a sensibilidade do *Hamiltoniano* ao

seu aumento. Nos dois casos, quanto menor o fator de desconto, menor é a evolução do valor das variáveis de co-estado.¹¹⁸

Podemos então explorar algumas propriedades do modelo na situação de “estado estacionário”. O estado estacionário escolhido corresponde ao crescimento balanceado *Harrod-neutro* - ver nota 60, para a definição de crescimento balanceado. Como faremos várias vezes, a obtenção das expressões na condição de estado estacionário tem como objetivo obter algumas indicações sobre a contribuição das variáveis no crescimento e mesmo para a formulação de políticas, apesar das limitações claras desta versão do modelo (como supor o capital humano total e o total de trabalho disponível na economia como dados).

Considerando que as taxas de crescimento do produto, do capital total físico, do consumo e do fator tecnológico devem ser iguais a γH_A (equação (5.4)), a proposta de Romer (1990a) é buscar esta expressão em termos dos parâmetros, procedimento que é usual em estática comparativa. Romer parte então da expressão desdobrada da equação de movimento do preço-sombra do fator tecnológico, apresentada em (5.12). Colocando a expressão correspondente em termos de taxa de crescimento, chega-se a :

$$g_{u_A} = \rho - \lambda \left(\frac{\alpha + \beta}{\alpha} H_0 - \frac{\beta}{\alpha} H_A \right) \quad (5.13)$$

Pode-se utilizar a expressão (5.13) para obter o valor de H_A e substituí-lo na expressão do estado estacionário. Para isto, basta considerar que no estado estacionário a taxa de crescimento dos preços-sombra do fator A é igual à expressão de crescimento do preço-sombra do capital. Partindo-se das condições de 1a. ordem (a 1a equação de (5.11)) obtém-se a expressão de crescimento do preço-sombra do capital, que é $-\sigma \lambda H_A$ que também está em termos da variável de controle do capital humano aplicado à produção. Igualando as duas expressões para obter H_A e multiplicando por $-\sigma \eta$, chega-se à fórmula que exprime o crescimento Harrod-neutro:

$$g_Y = g_k = g_c = g_Q = \frac{\lambda(\alpha + \beta)H_0 - \alpha\rho}{\alpha\sigma + \beta} \quad (5.14)$$

¹¹⁸ Atenção para o fato de que o símbolo σ não está representando a elasticidade de substituição entre fatores, como no item 4.2 e sim a elasticidade de substituição intertemporal que aparece no primeiro termo da parte direita da expressão (5.10). Quanto maior σ , no intervalo definido, menos sensível é a função utilidade para níveis mais elevados de consumo.

Este resultado não se afasta muito do que foi obtido no item anterior: a taxa de crescimento depende do capital humano total e do parâmetro de "chegada" do esforço de pesquisa, que é λ . Também mostra o efeito negativo do fator de desconto – que, como vimos, não é o valor do produto marginal do capital – sobre o crescimento.¹¹⁹

O modelo estabelece a relação entre um tipo de "inovação" e crescimento em um nível alto de generalidade. Em relação à Teoria da Inovação Induzida, dá um passo decisivo à frente, pois não estabelece, *a priori*, uma meta-função e coloca o aproveitamento das oportunidades de criação de variedade como o elemento central no processo de crescimento, cotejando seu efeito com o de variáveis macroeconômicas.

Finalmente, apresenta o resultado de estática comparativa no caso de uma trajetória em que k (a relação capital/produto) permanece constante, o que não é um requerimento para a existência de endogeneidade. Esse resultado adicional indica a relação positiva entre capital humano aplicado na produção e crescimento, o que, de forma ampla, introduz a questão de sua mobilidade e da importância da organização das relações temporais entre pesquisa e produção.

O papel do fator Q no modelo apresentado está relacionado ao efeito do crescimento populacional no processo inovativo e no crescimento. Portanto, a idéia de crescimento horizontal está associada diretamente à taxa de crescimento populacional.¹²⁰ Como ele estaria associado, nos modelos horizontalizados, ao processo de geração de inovações? Vimos que basta relacionar crescimento populacional à criação de variedade e de novos setores na economia. Nessa concepção¹²¹, mais variedade é resultado da capacidade de imitação dos agentes, que com isso competem no setor de bens intermediários.

A criação de mais setores tornaria, todavia, mais difícil o aproveitamento dos *spill overs*, gerando o que chamamos de efeito diluição.

Tem-se dois efeitos associados à inovação horizontal:

¹¹⁹ Chiang (1992:274) alerta que as expressões das taxas de crescimento obtidas pelo modelo Romer (1990a) estão em função de variáveis com expressão física (número de trabalhadores, número de horas, etc...) e não de um número puro.

¹²⁰ Uma questão importante, mas fora do foco deste trabalho refere-se ao trabalho de Jones (1995b), que aponta que dados os rendimentos decrescentes acentuados na pesquisa, uma mudança na função de produção agregada levaria à conclusão que o crescimento seria independente de políticas que afetassem a inovação e a intensificação de capital.

¹²¹ Difere da concepção de variedade tecnológica apresentada por Metcalfe (1997; 1998).

a) um **efeito escala**, derivado do impacto positivo sobre a remuneração do esforço inovativo dado pelo aumento da população, elemento que é tão mais verdadeiro quanto mais bem distribuída é a renda. O crescimento populacional estimularia o gasto em pesquisa, o que parece ser coerente com os fatos estilizados de países desenvolvidos. Pode-se associar esse efeito às economias de aglomeração;

b) um **efeito diluição**, uma vez que em um sistema com maior número de setores ocorreria maior diluição dos esforços de pesquisa. Esse efeito também poderia ser associado à idéia de maior complexidade, ou seja, mais variedade, mais complexidade, acentuando os rendimentos decrescentes associados aos dos resultados esperados de pesquisa.

A simplicidade e um certo mecanicismo dos modelos permitem pôr ênfase em um ou outro efeito, ou mesmo supor que se neutralizam mutuamente. Vamos apresentar apenas uma formulação possível, que relaciona crescimento populacional aos efeitos mencionados acima.

Façamos uma modificação do efeito da variedade em relação a (5.8). Como proposto por Howitt (1997), partimos de (5.7), adicionando um termo $Q^{\alpha-1}$, retirando o termo relativo ao capital humano e introduzindo um fator A - associado à idéia de ganho de qualidade, do tipo *factor augmenting*. Tal formulação neutraliza por completo o papel de Q sobre o modelo, o mesmo que supor que o efeito escala é compensado pelo efeito diluição. Nessa formulação, somente capital é utilizado na produção de bens intermediários.

A condição de *market clearing*, segundo Howitt (1998), imporá que o fluxo de bens intermediários em cada setor fosse igual à intensidade de capital ajustada pela produtividade e pelo número de setores intermediários. Maior Q , menor a intensidade em cada setor e menor o fluxo de bens intermediários por setor, algo simples como isso. Em cada setor teríamos

$$x_{it} = \frac{K_t}{A_t Q_t} = k_t l \quad \text{e tal formulação resultaria em uma função Cobb-Douglas agregada}$$

$$Y_t = K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} \quad \text{coerente com o fato de que o número de setores } Q \text{ não tem efeito agregado.}$$

Apesar disso, Q está presente no processo de inovação, que é acompanhado de um processo de imitação, e a imitação está associada ao crescimento populacional. Esse efeito de transmissão é dado pela introdução da variável $l = L_t/Q_t$. Assumindo que

$\frac{dQ}{dt} = \lambda_0 L_t$ e $\frac{dL}{dt} = \eta L_t$, ou seja, que o crescimento da variedade é função do estoque de população e uma taxa de imitação λ_0 e a taxa η de crescimento populacional, com um pouco de álgebra Aghion e Howitt (1998) mostram que l converge para $\frac{\lambda_0}{\eta}$. Quanto maior a taxa de imitação de uma economia, menor o número de pessoas por setor (o recíproco de l). Quanto maior a taxa de crescimento populacional, maior o efeito escala.

Uma maior base para imitação, por um lado criaria mais setores em que seria possível inovar, potencializando a inovação; uma excessiva propensão a imitar, todavia, aumentaria o efeito diluição. Seria então possível associar os modelos horizontalizados aos verticalizados, que apresentaremos a seguir, assumindo-se a importância maior do segundo. Em uma economia em que a intensificação de capital tivesse importância para os ganhos de monopólio dos inovadores, o crescimento populacional - a taxa de crescimento populacional η e não o nível L_t - teria um efeito de escala ampliando sua capacidade de captação de efeitos de transbordamento. Todavia, como mostra Howitt (1997), quando se neutraliza o efeito da criação de variedade, introduzindo o termo $Q^{\alpha-1}$ na função de produção agregada, a intensificação dos esforços de pesquisa não necessariamente resultaria em crescimento do produto *per capita*, uma vez que parte do esforço de pesquisa seria alocado para sustentar uma economia crescentemente complexa.

Os modelos horizontalizados centram-se na criação de variedade e em sua ligação com o crescimento populacional como motor desse processo. Incorporam a idéia de rendimentos crescentes associados à presença de fatores fixos resultantes da utilização do capital humano e o fato de que uma base crescentemente ampliada de variedade gera efeitos de transbordamento que são apropriados por outros agentes. Essa idéia de o uso rival de recursos gerar *spill overs* dá base à idéia de endogeneidade do crescimento.

O crescimento é endógeno em função do processo de decisão privada de investir na criação de variedade que gera efeitos crescentes de escala. Dois efeitos resumiriam o processo: o efeito escala, derivado do que apontamos acima e um efeito diluição, resultante da dificuldade crescente em fazer com que a inovação atinja novos beneficiários à medida que a base de potenciais inovadores cresce. Esse efeito diluição, associado à idéia de complexidade crescente

do sistema, introduziria a explicação melhor que a de rendimentos decrescentes ao emprego de mão-de-obra, defendida por Jones (1995b).

Dois aspectos são de grande relevo para a discussão da TII:

a) As inovações geradoras de variedade são intensivas em mão-de-obra qualificada. A criação de variedade não é afetada por processos de "correção de viés", derivados da indução tecnológica. Os agentes são estimulados a contratar capital humano à medida que a criação de variedade for um investimento lucrativo, ainda que parte de seu efeito crie base para os concorrentes também investirem na criação de mais variedade;

b) A existência de rendimentos crescentes é compensada por efeitos de saturação característicos da atividade de pesquisa, por rendimentos decrescentes associados à intensificação no uso de fatores e por efeitos resultantes da perda de eficiência do mecanismo de transbordamento. O agente que decide privadamente o quanto inovar não é capaz de antecipar todos esses efeitos e o papel das instituições de pesquisa não é apenas complementar ou compensatório, ou seja, elas não funcionam apenas para captar efeitos que o mercado teria maiores dificuldades em transmitir (de Janvry, 1985), sua presença gera outros efeitos que não os previstos pela TII.

No modelo apresentado nesse capítulo as taxas de crescimento em situação estacionária dependem diretamente do capital humano total disponível na economia, ainda que seja simples mostrar a importância da mobilidade do capital humano na presença de *LBD* e nos processos transitórios. Como detalhe adicional, mas importantes para a crítica da TII, está o ponto de que a composição do próprio setor de pesquisa é intensiva em capital humano e na visão "schumpeteriana" em capital.

Em resumo, os modelos horizontalizados, ainda que otimistas em relação ao papel da inovação como determinação do crescimento - será que variedade implica mesmo crescimento, é a pergunta que não é feita - mostram pouca preocupação com "fatores relativamente escassos", enfatizando a capacidade de geração permanente de variedade, cumpridos certos requisitos na organização da economia, como a de manter níveis elevados de capital humano, dada a

disponibilidade total de mão-de-obra. Nesse sentido, esses modelos, como os *AK*, opõe-se frontalmente à idéia de inovação induzida.¹²²

Finalmente, é importante lembrar que o papel das variáveis macroeconômicas e aquelas relacionadas à função objetivo dos agentes não difere muito nos modelos já apresentados e naqueles que apresentamos a seguir. O que esses modelos permitem é conciliar processos geradores de não-convexidades com a caracterização precisa da relação entre as variáveis no estado estacionário e essa possibilidade está associada tanto a certos supostos simplificadores em relação ao comportamento do agente que decide inovar quanto aos efeitos compensatórios relacionados aos efeitos da inovação. É nesse ponto que está a proximidade destes modelos com o apresentado no item 4.2: é possível admitir, sob certos pressupostos, que modelos com inovação endógena gerem trajetórias bem comportadas de crescimento.

¹²² Como vimos, a visão pessimista é atribuída à Jones (1995a) que contesta a endogeneidade do gasto de R&D e de seu efeito na taxa de crescimento de longo prazo.

6 Modelos “schumpeterianos” de crescimento endógeno: elementos básicos e efeitos do processo inovativo

Equation Section 6

Trataremos a seguir dos elementos básicos dos modelos ditos “schumpeterianos” de crescimento endógeno. O termo está relacionado à introdução de efeitos de destruição criadora, modelizados inicialmente no contexto da moderna teoria de crescimento endógeno, por Aghion & Howitt (1992), em artigo seminal. Isso nos auxiliará a discutir, no capítulo seguinte, como a TII poderia ser inserida no debate atual.

Um dos desdobramentos importantes da TII estaria na elucidação de um mecanismo de correção de viés – que em condições ideais funcionaria de maneira sistemática – tendo na base uma dupla tensão: a presença de viés seria um elemento dinamizador (como a variedade nos modelos evolucionistas, como apontam Willinger & Marengo, 1999) e, ao mesmo tempo, como algo a ser eliminado, pois, como vimos, captaria um elemento estrutural de fricção do sistema. A apresentação a seguir dá continuidade à discussão realizada no final do item 4.2, na medida em que ajuda a reforçar a visão do mecanismo da TII como causador de um processo contínuo e descentralizado, mas que só ocorreria em situações muito restritivas. A possibilidade de que uma inovação seja deslocada por outra traz um elemento adicional nesse processo de coordenação.

Isto não significa que essa linha de modelos não enfrente alguns problemas semelhantes aos que apontamos para a TII, principalmente a simplificação do caráter do processo de coordenação que interfere nos microfundamentos e em seu efeito sobre as trajetórias estilizadas de crescimento. Apesar disso, a proximidade teórica com as formulações pertinentes à TII facilita a comparação das abordagens e o diálogo entre os modelos.¹²³

Uma fragilidade inicial desses modelos está na estilização excessiva do processo de pesquisa, assumido como sendo feito por empresas privadas em um ambiente competitivo, mas gerando ganhos de monopólio para produtores de bens intermediários. Essa estilização levaria à dedução de que o *spill over* gerado pela pesquisa sobre empresas rivais gera “muito pouca pesquisa” (Caballero & Jaffé, 1993). Todavia, como vimos, alguns trabalhos (Jones, 1995b) sugerem que quando se considera o efeito da pesquisa sobre a produtividade no período pós-

¹²³ Geopi (2000) observa que os modelos de crescimento derivados do modelo Solow preocupam-se com a relação entre processo inovativo e crescimento, tratando de forma muito genérica a inovação, sua natureza e características.

guerra, os gastos em pesquisa não seriam explicativos do crescimento, concluindo pois que o gasto com pesquisa foi excessivo.

O modelo que será desenvolvido neste capítulo tem alguns elementos em comum com aqueles apresentados no capítulo anterior e com a formulação apresentada no capítulo 2. Mostra também que avançar no sentido de uma formulação macroeconômica da contribuição da inovação tecnológica para o crescimento a partir de microfundamentos é tarefa mais complexa que a de desenvolver mecanismos macro e micro separadamente, como os apresentados nos itens 3.3 e 4.2. A tentativa de associar microfundamentos ao crescimento torna mais complexo o uso de funções mais desagregadas e principalmente, aceitar-se como microfundamento básico, a percepção pelo agente de que os gastos de pesquisa, sob restrição, pode ser direcionado para aquela modalidade experimental poupadora do fator mais escasso.

O que os modelos tratados no presente capítulo aportam para essa discussão - sua contribuição é muito mais vasta, por suposto - é que os microfundamentos referem-se a questões mais amplas, e com isso, tornam a percepção e o efeito induzido de menor importância na maioria das situações em que as rotinas inovadoras estão endogenizadas no sistema econômico, seja pelos agentes racionais, na forma mais simples, estilizada dos modelos convencionais; seja por agentes atuando sob um nexo de contratos; ou quando se consideram formas organizacionais mais complexas.

Para a crítica da Teoria da Inovação Induzida, cabe apontar dois aspectos introduzidos por esses modelos: a geração continuada de variedade e a importância do capital humano, associados a ganhos monopolistas como o "motor" da apropriação privada. Toda e qualquer invenção estaria dando margem a atividades de "*inventing around*", geradoras de variedade que produziria crescimento. A renúncia intertemporal ao consumo estaria potencialmente associada não só a uma trajetória de crescimento e de intensificação de capital, como nos modelos S-S, mas à possibilidade de criação continuada e sustentável de variedade como base do crescimento, mesmo que definido em termos *per capita*.

Indo um pouco mais adiante na questão da importância da composição dos fatores e do processo de indução, nos modelos descritos em 5.2, o "incentivo para desenvolver as atividades de P&D determinam a taxa de crescimento de longo prazo independentemente da taxa de crescimento do estoque de capital"(Howitt & Aghion, 1998:118) e assim, o chamado "capital

humano” comporta-se tal como o fator trabalho, existindo apenas um *trade off* entre alocar o montante L no setor manufatureiro e no setor de pesquisa. Vamos mostrar no modelo a seguir que essa restrição é desnecessária e que os resultados vão na direção apontada por Mundlak (2000) e Howitt & Aghion (1998), entre outros, que não opõem crescimento e intensificação do uso de capital. A explicação básica é que a atividade de P&D é também intensiva em capital, o que gera efeitos diretos e indiretos favoráveis da intensificação de capital sobre o crescimento. Nesse sentido, o mecanismo da TII apontaria para uma separação entre os efeitos sobre a intensificação de capital gerada pela pesquisa e a composição das atividades de P&D.

Os elementos dos modelos "schumpeterianos" que apresentamos a seguir indicam a presença de um conjunto de efeitos associados ao processo inovativo quando concebido de forma verticalizada. A apresentação desses efeitos baseou-se em uma economia bastante esquemática, em que somente trabalho participa da produção de bens intermediários que são os elementos-chave do processo inovativo e do crescimento.

Como os modelos horizontalizados, os modelos "schumpeterianos" estruturam a economia a partir da busca do lucro de monopólio, adicionando elementos de realismo à formulação extremamente simplificada baseada em Dixit & Stiglitz (1977). Aproveitando o desenvolvimento que faremos em 6.1 elementos de realismo estão relacionados aos efeitos de destruição criadora de empresas em um mesmo setor, que compreendem tanto a dificuldade de apropriação integral dos ganhos de monopólio (incorporada nas expectativas empresariais), quanto o efeito de destruição do capital pelo incumbente inovador (não internalizado em seu processo de decisão).

Soma-se um efeito *crowding out*, desenvolvido em 6.2, que nesse nível não tem relação com a ação pública, mas sim, à disputa por capital humano entre setores no processo de crescimento. O papel do *LBD* na geração de conhecimento tácito contribui para reduzir a importância do efeito indutivo, uma vez que reforça a direção dada pela inovação gerada pelo setor de pesquisa e difundida no setor produtor de bens finais. Os dois mostram que a decisão em investir em uma determinada modalidade de P&D passa por um conjunto mais complexo de decisões do que aquela que envolva seus efeitos poupadores: as características (de custo) do processo de inovação são fundamentais, assim como o efeito do gasto sobre a utilização de capital.

A caracterização do processo inovativo como produto de uma distribuição do tipo Poisson ou exponencial poderia ser alvo de críticas. Em 6.1 mostramos o que ocorreria se os diferentes setores da economia tivessem distintas oportunidades tecnológicas, refletidas nos parâmetros da função de distribuição, mais precisamente na taxa de chegada das inovações. Nos modelos “macroeconômicos” de crescimento endógeno procura-se mostrar como no longo prazo o gasto com inovação seria igual em todos os setores e isso, caso tivesse a força de um argumento realista, seria um argumento definitivo contra o mecanismo de indução.

O surgimento das inovações não dependeria de uma decisão sobre uma modalidade específica de inovação poupadora e sim de um processo mais amplo, de investimento em inovações em diferentes setores, na busca do lucro de monopólio. Vincular esse processo a efeitos poupadores de algum fator relativamente escasso e associar o processo inovativo ao aumento de flexibilidade da meta-função de produção dependeria da suposição de que o agente que decide teria um nível de “controle” sobre o processo que efetivamente não existiria nos modelos macroeconômicos de crescimento endógeno, inclusive o que vamos apresentar a seguir.

O trabalho de Atkinson & Stiglitz (1969), ao mostrar a importância da inovação localizada, daria um fundamento para a TII, uma vez que o valor da elasticidade-substituição, sendo menor que 1, “induziria” inovações direcionadas localmente. Desse modelo não se pode esperar, todavia, um efeito amplo, que direcione as trajetórias da tecnologia e sim um efeito local, que aproximaria a TII do aporte neo-schumpeteriano. Mais uma vez fica claro que a introdução de uma análise multissetorial, que é a relevante afinal, introduz limitações fortíssimas à verificação empírica do mecanismo de indução. Nos modelos “schumpeterianos” a substituição em uma situação multissetorial, mesmo sem *path dependence*, vai ocorrendo segundo a capacidade de apropriação do conhecimento geral que vai sendo gerado e não segundo uma decisão microeconômica de reduzir custo do fator escasso para cada um dos agentes. Apenas uma forte coincidência permitiria ao inovador ao mesmo tempo apropriar-se do conhecimento geral e seguir os sinais indicados em seu segmento.

Em resumo, o modelo que apresentaremos a seguir trata da introdução do capital no processo de geração de bens intermediários. O capital e a inovação seriam processos coligados - não somente pela existência de inovações incorporadas, mas pelos efeitos sinérgicos entre eles, atenuando efeitos negativos das variáveis macroeconômicas e potencializando o efeito da

inovação. Como isso ocorreria de forma precisa nos modelos "schumpeterianos", com desdobramentos que permitiriam introduzir os processos de *LBD*, a mobilidade do capital humano e a competição como elemento importante para a decisão de (não) inovar.

Nesse sentido dois pontos de contato podem ser antecipados: a) a idéia de que a inovação altera uma situação anterior de uma forma específica, detalhada nos modelos; b) que essa alteração está relacionada com as estruturas de mercado vigentes. A presença da destruição criadora e do papel da competição em situações monopolistas são elementos que não estão subordinados a qualquer noção de Fronteiras de Possibilidades Tecnológicas e menos ainda ao processo decisório, como o definido em 4.2.

O objetivo da inovação pode estar relacionado à presença de custos de Agência (Aghion e Dewatripoint e Rey, 1993), a um efeito de encadeamento do processo inovativo e, como microfundamento, ao próprio interesse de apropriação monopolista, potencializado privadamente pelo efeito da destruição criadora, fato já apontado em 4.2. Além disso (aí reside o principal problema), os modelos cujos elementos básicos apresentaremos a seguir estão melhor conectados com a idéia de crescimento, pois buscam a explicação do processo de decisão de inovar e como avaliar importância dessa decisão para o processo de crescimento.

Nos próximos dois itens descreveremos um conjunto de efeitos do processo de inovação tecnológica sobre as empresas e sobre o crescimento. Esses efeitos devem auxiliar no entendimento de como os gastos em P&D são relacionados tanto ao crescimento econômico quanto ao grau crescente de complexidade das economias capitalistas, complexidade que o próprio processo de P&D se encarrega de incrementar a cada ciclo de inovações.

6.1 Elementos básicos dos modelos "schumpeterianos": a inovação tecnológica e seus efeitos no processo de crescimento

Apresentaremos um conjunto de elementos básicos requeridos para a compreensão dos modelos "schumpeterianos" em uma ordenação que visa a facilitar a posterior compreensão da utilização de modelos desse tipo na crítica à inovação induzida. A base são os trabalhos de Grossman & Helpman (1991), Barro & Sala-I-Martin (1995), Howitt (1998), Howitt (1999) e Aghion & Howitt (1998). Existem outras formulações interessantes, incorporando o que definimos como efeito da "destruição criadora" (Caballero & Jaffé, 1993, entre outros), mas

principalmente os trabalhos de Aghion & Howitt têm o mérito da clareza e utilizam vários dos efeitos associados aos processos ditos "schumpeterianos".

O presente item completa alguns elementos que já foram explicitados em 4.1.2 e no item 5.1. Apresenta formalmente os efeitos de *spill over* e o "core" da idéia de destruição criadora, o *business stealing effect*. Ainda tratando dos elementos básicos, relaciona-se a forma de agregação das decisões dos agentes com a idéia de fronteira tecnológica e com o efeito associado à presença de externalidades, em um modelo multisetorial. Além da apresentação desses efeitos - explicitando-se os pressupostos e o contexto em que operam - procura-se estabelecer um ponto de contato com a Teoria da Inovação Induzida, construindo um caminho para o balanço crítico que será feito no capítulo final do trabalho.

Os modelos que serão base para a apresentação dos "efeitos" respeitam a estrutura já apresentada em 5.1: há um setor produtor de bens intermediários, que detém o monopólio sobre a inovação e que cobra do setor de bens finais um preço de monopólio. Os setores produtores de bens finais e de pesquisa são competitivos. Na forma mais simplificada, o setor de bens intermediários tem no trabalho seu único fator, sendo que a definição do salário (corrigido pelo nível de produtividade da fronteira) depende:

a) da dotação total $L = n + T$, o que implica *trade off* entre alocar uma unidade adicional no setor produtor de bens finais (T) ou destinar uma parte para pesquisa (n);

b) de uma equação de arbitragem entre o valor do salário corrigido pela produtividade e o ganho da inovação, que está relacionada a uma solução do tipo determinado pela equação de *Bellman*.¹²⁴

¹²⁴ As equações de *Bellman* são interpretadas como as condições marginal de um problema de programação dinâmica. Elas fornecem o valor marginal de um vetor de variáveis de estado de um problema definido em j períodos. O problema é definido a partir da busca de solução para um problema de maximização sob restrição em j períodos que admite solução recursiva. Em sua forma mais simples, dados os vetores que definem as variáveis de controle e de estado, caso seja possível caracterizar precisamente o estado final do problema, é possível obter o valor que caracteriza esse estado e com isso achar o valor que maximiza o estado anterior, por meio de uma equação de transição que vincula as variáveis de controle com as variáveis de estado, com um período de defasagem. De forma extremamente simplificada, o princípio de *Bellman* afirma que se for possível encontrar recursivamente o ponto anterior que permitiu chegar de forma otimizada ao estado final, é também possível recursivamente encontrar o caminho otimizado compatível com a definição das condições iniciais do problema. Ver Sargent (1987). Kirkland & Prescott (1977) e Calvo (1978), citados por Sargent, apontam que soluções recursivas não se aplicam a problemas com múltiplos agentes.

Dessa construção básica é possível definir um conjunto amplo de modelos, que levam em consideração não só o impacto direto da inovação sobre a lucratividade do sistema integrado verticalmente, mas outros efeitos chamados “schumpeterianos”.

O modelo de inovação verticalizado: impacto da inovação em um setor e uma introdução ao efeito intersetorial

Uma vez que a inovação ocorre com certa distribuição em um período de tempo, como avaliar seu impacto?¹²⁵ Uma forma de avançar no tratamento do problema, que introduz o modelo vertical de inovação, é considerar certas condições de crescimento que permitam relacionar o processo apresentado acima a uma sucessão de inovações ($\tau, \tau+1, \tau+2, \dots$). Partindo-se de uma condição de estado estacionário de crescimento do consumo e da produção, pode-se obter uma função de produção agregada a partir de

$$Y = L^{1-\alpha} \int_0^A x_i^\alpha d_i \quad (6.1)$$

para obter¹²⁶

$$Y_t = A_t (L - n)^{\bar{\alpha}} \quad (6.2)$$

Esta função ainda não está indexada no tempo, mas sim pela sucessão de inovações que ocorre segundo um padrão temporal de obtenção de inovações, afetando A_t . A transformação da expressão (6.2) em termos temporais depende de dois fatores: um fator γ que dá a escala do efeito de cada uma das inovações que ocorrem (da seqüência) e uma formulação que considera a probabilidade do surgimento de inovações no tempo, que chamamos “taxa de surgimento de inovações”, λ_t (ver 4.1.2).

¹²⁵ Para os leitores familiarizados com a literatura “neoschumpeteriana”, a internalização das atividades de P&D nas firmas interfere nas decisões de gasto, na composição desse gasto e isso, obviamente, interfere na distribuição associada ao processo inovativo, no sentido de restringir o escopo de escolhas tecnológicas. Isso, todavia, não altera o fato de que há um componente aleatório que não pode ser eliminado e que é mais importante quanto menos relação tiver com processos de *LBD*. Ver Nelson & Winter (1982) e Dosi (1988).

¹²⁶ Considere em primeiro lugar que os diferentes x_i correspondem, no caso de um equilíbrio simétrico, a um \bar{x} . Isto permite a agregação da expressão (6.1), para obter (6.2). Utilizando-se então uma forma Cobb-Douglas, pode-se substituir x por $(L - n)$, ou seja, a parcela de trabalho do setor de manufaturados, o que é uma representação simplificada em relação ao modelo Romer (1990b). O uso da função de produção Cobb-Douglas não é obrigatório, sendo uma maneira de enfatizar o fator tecnológico A .

Mostra-se então que é possível dar outra ênfase ao processo inovador, distinta da apresentada em 5.2, que se centrava no ganho do consumidor pela diversidade e no efeito no aprendizado potencial de outros inovadores. De fato, é possível ordená-lo de forma verticalizada, seqüencial, dirigindo a discussão para o impacto da inovação e da qualificação dos diferentes tipos de efeitos a ela associados.

Para tanto, voltemos à expressão (6.2). No estado estacionário, segundo Aghion & Howitt (1992), a cada inovação, $\ln y(\tau)$ cresce $\ln \gamma$, com $\ln \gamma > 0$. Obtém-se a expressão linearizada da variação devida ao processo inovativo entre dois períodos consecutivos, como sendo o termo aleatório corresponde ao número de inovações ocorridas nesse intervalo de tempo, que segue uma distribuição aleatória, por exemplo Poisson (ou exponencial), com parâmetro $\lambda \bar{n}$. Com isso, chega-se à taxa de crescimento média, derivada do impacto tecnológico que é:

$$E(\ln Y_{\tau+1} - \ln Y_{\tau}) = \lambda \bar{n} (\ln \gamma) \quad (6.3)$$

No estado estacionário, partindo-se do último termo de (6.3), tem-se que

$$g_y = \lambda \bar{n} \ln \gamma. \quad (6.4)$$

Tal formulação empresta ao processo inovativo um aspecto de “avanço em escada”- e daí a explicação para o termo verticalizado - permite observar que tanto uma maior taxa de surgimento de inovações (refletindo as oportunidades tecnológicas e o estado da arte da ciência e tecnologia) quanto o impacto destas inovações afetam positivamente o crescimento.

A conexão com o que vimos anteriormente é feita por meio dos fatores que afetam a "taxa de chegada de inovações" e a decisão de empregar capital humano no setor de pesquisas. A evolução do parâmetro relativo à tecnologia, g_A - também chamada equação de *spill over*- em uma situação de crescimento balanceado foi apresentada na expressão (5.4). O termo relativo ao capital humano, por seu turno resulta da decomposição do capital humano como em (5.5). H_A representa o efeito de acumulação do conhecimento no capital humano e o nível de decisão para investir no departamento de pesquisa, ou seja, está em conexão direta com n . O outro termo da equação de crescimento trata do alcance do processo inovativo, por meio do parâmetro γ .

A formulação da “taxa de chegada” das inovações como o parâmetro de uma distribuição de Poisson é apenas a maneira mais simples de representar o problema. Podemos, por exemplo,

considerar a presença de externalidades (ou um efeito de retro-alimentação): quanto maior o gasto de pesquisa n , maior o valor do parâmetro relativo à produtividade do esforço de pesquisa, λ , ou seja, $\hat{\lambda} = \lambda(n)$. Essa função poderia seguir, por exemplo, um modelo logístico¹²⁷.

Segundo Aghion & Howitt (1998) isso abriria a possibilidade de equilíbrios múltiplos, pelo menos um deles instável, em função da forma de U-invertido da relação entre uma função $\Psi(n)$ e n , o gasto de pesquisa, significando que as externalidades teriam um efeito favorável ou desfavorável ao surgimento de inovações e ao crescimento equilibrado, dependendo do valor de n . Ultrapassada a situação de “armadilha” em que não haveria pesquisa – correspondente a valores muito baixos de gastos com pesquisa - o aumento de n levaria a um ponto de equilíbrio instável, causado por uma elevada taxa de crescimento da “taxa de chegada de inovações”, com efeitos predominantes de “destruição criadora” sobre os efeitos de transbordamento.

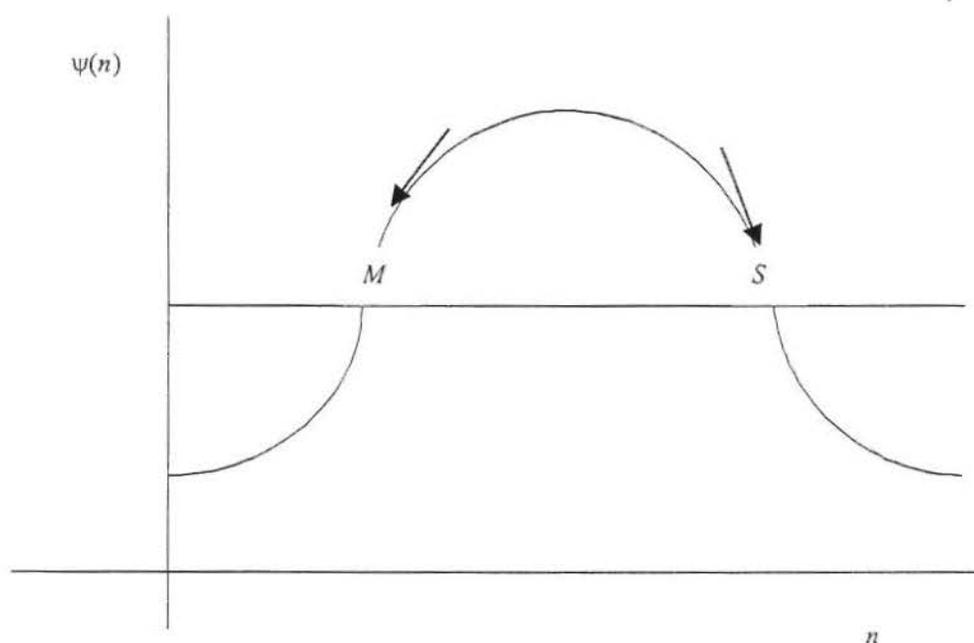
O equilíbrio estável ocorreria quando a proximidade com o “teto” da função logística para $\lambda(n)$ determinasse a progressiva redução do valor de $\Psi(n)$. Ainda que não se demonstre matematicamente, o importante é apontar que um padrão não-linear para $\lambda(n)$ teria efeito sobre o sistema que relaciona a decisão de gastos em pesquisa e a o custo de oportunidade do uso de recursos, principalmente o capital humano.

A Figura 6.1 mostra como para diferentes valores de n teríamos dois equilíbrios, M (instável) e S (estável) para a condição de estado estacionário, isto é, quando $\Psi(n) = 1$.

Essa possibilidade é um elemento “complicador” para a aceitação, ainda que em elevado grau de abstração, da idéia de que o agente escolhe o quanto vai gastar em P&D em determinada modalidade de pesquisa, como no modelo apresentado em 4.2, ou seja, reforça nossa crítica de que a TII está fadada a ser mais um dos efeitos relacionados à decisão de investir em P&D e não seu principal efeito.

¹²⁷ Esse parâmetro reflete as oportunidades tecnológicas tal como vimos em 4.1.2. Sua interpretação ganha substância em um modelo multisetorial, sendo λ_i parâmetro de produtividade do esforço vertical em P&D em um setor específico.

Figura 6.1. Equilíbrios múltiplos na presença de externalidades afetando a taxa de chegada de inovações



O efeito de *spill over* é mais importante quando existem mais setores e atividades capazes de absorver o conhecimento gerado no período “ t ”. Isso já havia ficado claro na discussão dos modelos horizontais. Todavia, também sua importância em modelos verticalizados é maior quando esses se referem a economias com muitos setores.

Um modelo simples, como o que descrevemos acima, considera n como o montante dedicado à pesquisa em um determinado setor (ver também a formulação apresentada em 4.2). Todavia, n , pode ser o montante “ajustado” pela produtividade e mesmo pela variedade de produtos/dispositivos/setores existentes. Por exemplo, um aumento de gastos de pesquisa só vai ser considerado relevante se mais que compensar o nível da produtividade alcançado pela fronteira tecnológica. Quanto maior esse componente A_{\max} , maior o gasto para o mesmo efeito esperado sobre o crescimento (ver Howitt, 1998:718).

Os modelos verticalizados multissetoriais trazem uma nova dimensão para o papel dos gastos de pesquisa e dos efeitos de transbordamento que, em linhas gerais, está relacionado à interdependência setorial, ou seja, os modelos multissetoriais exigem um tratamento mínimo para a questão da distribuição das “taxas de chegada” nos diferentes setores, ao invés de simplesmente

colocar n ou $\psi(n)$ na equação de *spill over* (6.4). A “taxa de chegada” de inovações seria então dada por uma função $\phi_i = \lambda \phi \left(\frac{R_i}{A_{\max}} \right)$ sendo que $0 < \lambda$; $\phi' > 0$, $\phi'' < 0$; $\phi(0) = 0$. R_i refere-se ao número de unidades de produto final que são destinadas a P&D. Essa função apresenta rendimentos decrescentes, o que se supõe ter apoio na evidência empírica (Howitt, 1997:9) e no efeito “diluição” descrito em 5.2. A presença do parâmetro relativo à fronteira tecnológica considera a crescente complexidade do sistema no que se refere às possibilidades de inovar.

Mostrou-se como as decisões de gasto podem ser associadas a um padrão de crescimento em escada e como esse padrão tem relação com o efeito de *spill over*. Esse se manifesta de duas formas: a) ampliando a base de conhecimento comum apropriável pelos inovadores; b) pelo efeito de destruição captado por maiores exigências de retorno das inovações quando se considera a presença de *trade off* entre alocar capital humano na pesquisa ou na produção. Também procurou-se evidenciar que em situações de não-linearidade entre as decisões de gasto de pesquisa e o parâmetro relacionado à inovação, situações mais complexas emergem, mesmo quando se considera apenas um setor.

Finalmente, a consideração de mais de um setor, coerentemente com o apresentado em 3.1, introduz maior realismo e complexidade à análise: por um lado, mesmo que se aceite que as inovações tecnológicas têm um elevado grau de especificidade setorial (Dosi, 1988), fica claro que existe um conhecimento comum que se amplia com as inovações passadas; por outro, um número crescente de setores engendra maior complexidade no tratamento da forma com que os setores se relacionam com uma idéia de fronteira tecnológica presente

Spill over e competição: inovações drásticas e não-drásticas e o tamanho da inovação.

O aspecto positivo da inovação, gerando efeitos de transbordamento, todavia, deve predominar sobre os efeitos negativos que caracterizam o processo de destruição criadora. Esse está relacionado tanto ao efeito das inovações quanto ao conceito de concorrência na indústria ou setor. Vamos analisar em seguida a relação entre o tipo de inovação, seu tamanho e impacto no processo de crescimento, deixando a discussão sobre concorrência para o final do capítulo. Note que essas inovações não correspondem a processos de aprendizado internos às firmas, que, inclusive, podem reduzir o volume de gastos destinados a P&D.

Há uma relação entre γ e o efeito das inovações, que, *grosso modo*, podem ser classificadas em drásticas e não-drásticas. Inovações não-drásticas são aquelas que não removem o lucro do anterior incumbente originado da imposição do preço de monopólio pelo incumbente que inovou para o período corrente. Como identificar o tipo do efeito causado pela inovação? Como seria possível saber se uma inovação é drástica ou não?

Um recurso é utilizar um modelo simplificado de crescimento endógeno verticalizado. O modelo parte da função de produção apresentada em (6.1) e segue a formulação que permite calcular o impacto médio da inovação definido por (6.3). O modelo é simples, pois, mantendo a estrutura entre departamentos mencionada acima, pressupõe o trabalho como o único insumo da indústria de bens intermediários, isolando o efeito da acumulação de capital da inovação. Isso faz com que o trabalho seja o único custo do produtor de bens intermediários.

O incumbente é inovador a seu turno. O τ -ésimo inovador é maximizador de lucro segundo $\pi_\tau = \max [A_\tau \alpha x^\alpha - w_\tau x_\tau]$, sendo w_τ o salário e $p_\tau(x)$ o preço ao qual o τ -ésimo inovador, a firma produtora de bens intermediários, segundo Aghion e Howitt (1998:56), vende um fluxo x ao produtor final (produtor de bens de consumo, como vimos). É fácil calcular tanto a função inversa de demanda quanto a função de demanda por bens intermediários. Se $p_t(x) = A_t \alpha x^{\alpha-1}$, então a função de demanda direta é expressa por:

$$x_{it} = \left(\alpha^2 A_t \gamma^\alpha \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (6.5)$$

Simplificando, chega-se à expressão do lucro como $(1/\alpha - 1)w_t x_t$ e $p_t = \alpha^{-1} w_t$, tomando x_t como argumento para a maximização de lucro.

A condição de manutenção do incumbente no mercado é imposta pelo produtor de bem final que, sendo competitivo, iguala o preço pago ao insumo a seu custo médio de produção. Com isso, o custo de produzir y unidades, segundo Aghion & Howitt (1998:74) é $C_{t-1}(w_t, y) = w_t x$ sendo $y = A_{t-1} x^\alpha$. Substituindo o valor de x_t obtém-se a expressão do valor que equilibra o mercado de insumos quando o fornecedor é o incumbente não-inovador:

$$C_{t-1}(w_t, y) = w_t \left(\frac{y}{A_{t-1}} \right)^{1/\alpha}.$$

Basta, então, comparar com o caso do produtor do novo bem intermediário. Este tem um poder de monopólio e impõe o preço $p_t = \alpha^{-1}w_t$. Seguindo o mesmo procedimento adotado para o caso do incumbente de geração anterior chega-se à expressão que fornece uma noção de preço-limite ou de exclusão: $C_{t-1}(w_t, y) = \frac{1}{\alpha} w_t \left(\frac{y}{A_t} \right)^{1/\alpha}$, o que impõe um melhor desempenho do incumbente, seja pela progressão determinada pela inovação (no estado estacionário, igual a (6.4)), seja pelo efeito redutor do parâmetro associado à concorrência, α , a elasticidade da curva de demanda enfrentada por um monopolista produtor de bens intermediários.

Temos, em função do modelo simplificado, que como $A_t = \gamma A_{t-1}$ (Aghion & Howitt, 1998:75), a inovação será drástica quando forem verificadas as condições para a imposição de um preço de exclusão pelo incumbente inovador. Isso só ocorre quando o tamanho da inovação γ for maior ou igual a $(1/\alpha^\alpha)$. Para níveis de α entre 0,3 e 0,4, o tamanho da inovação para que fosse drástica conteria o máximo e estaria entre 1,44 e 1,45. Com aumento ou diminuição da concorrência (avaliada pela elasticidade de mercado, repetimos) o tamanho requerido diminuiria, seria mais fácil introduzir inovações drásticas. Então

$$\hat{p} = \gamma^{1/\alpha} w \quad (6.6)$$

seria o preço-limite que o incumbente poderia cobrar para manter-se no mercado, ou seja, esse seria o *mark up* cobrado no caso não-drástico. Poucas alterações ocorreriam nas condições de equilíbrio no estado estacionário quando esse *mark up* substituísse o $\bar{p} = w\alpha^{-1}$, correspondente ao caso não-drástico. Nos dois casos constata-se que a situação de crescimento sob *laissez faire* levaria a menos gastos com pesquisa do que seria ótimo, por razões que discutiremos adiante.

Esse resultado mostra que a principal diferença entre o caso drástico e o não-drástico está relacionada a um *mark-up* distinto afetando as decisões ótimas de quanto produzir do bem intermediário. Obviamente em um mesmo sistema poderiam conviver os dois tipos de inovação. O predomínio de inovações não-drásticas traria maior complexidade ao processo concorrencial, tornando desnecessário supor qualquer tipo de “*replacement effect*”, ou seja, não haveria necessidade de supor o esgotamento da pesquisa em um período, como foi proposto pelo modelo

formulado por Evenson e por Binswanger (subitem 4.1.2), que utilizam esse artifício para manter o vínculo causal entre viés e inovação.

Situações em que o *spill over* associado à inovação drástica predomina fariam com que a concorrência (na forma entendida pelos modelos derivados do trabalho de Dixit-Stiglitz) tivesse um efeito predominantemente negativo sobre a inovação e sobre o crescimento, fazendo com que a busca de lucros de monopólio por parte do inovador, apesar de gerar efeitos de transbordamento, acarretasse a substituição socialmente indesejável de incumbentes, com um saldo negativo para o processo inovativo. Fica claro que o problema está na estilização do processo competitivo que engendra a substituição via competição inovativa, que é bastante simplificada, havendo outras alternativas possíveis, como a de introduzir uma estilização com base em modelos de “*war of attrition*” (Ghamewat & Nalebuff, 1985; Whinston, 1986), em que a rivalidade leva ao desgaste dos competidores, mas cria um incentivo a inovar e um efeito positivo para o crescimento.

O que é importante é que se o incumbente não inova, ele não tem poder de barganha e a destruição criadora opera independente do tamanho da inovação.¹²⁸

Howitt & Aghion (1998: 125 e seguintes) obtêm um resultado relevante referente ao caso das inovações não-drásticas. Como o *mark up* no caso não-drástico é definido por (6.6), a margem do inovador depende do tamanho da inovação, o que não é válido para o caso drástico (em que o tamanho funciona como um limite). Isso é associado a um conceito de competição mais próximo ao dos modelos “neoschumpeterianos”. Seu desdobramento é também conhecido na literatura que chamamos “neoschumpeteriana”: inovações não-drásticas correspondem a estratégias de imitar o inovador (estratégia de seguidor). O modelo inovador/seguidor permite justificar o papel importante da competição no estímulo ao crescimento econômico.

Uma vez aceita a classificação das inovações em drásticas e não-drásticas, quais seriam as implicações de considerar o “tamanho” das inovações, γ , endógeno? O agente não decidiria apenas sobre o número de “parcelas” que investiria em P&D, mas também em relação ao

¹²⁸ A concepção “penrosiana” da firma como conservadora de recursos e de capacitações poderia ser entendida nesse contexto como uma forma de estabelecer rotinas que aumentassem o poder de barganha do incumbente, mesmo aceitando a idéia de que a inovação seria obtida por outro incumbente (o que é aceitável no caso da indústria farmacêutica, por exemplo). Todavia, esta também poderia interferir na distribuição inter-firmas da “taxa de chegada

tamanho da inovação, dado um certo ambiente concorrencial (ainda que o conceito de concorrência seja tomado a partir das características da curva de demanda enfrentada pelo monopolista, enfatizamos novamente).

Tal consideração estaria relacionada à idéia de sentido e impacto da inovação que sustentam a distinção entre *level* e *change effect*, apresentada já em 3.2. Um agente, ao decidir o tamanho das inovações visando a maximizar lucros (tornando-a drástica ou não, dada as condições de mercado), estaria também definindo o nível do impacto desejado e não apenas sua direção.

Para introduzir mudanças nos parâmetros que explicam a taxa de chegada de inovações e criar uma estrutura que represente esforços encadeados de pesquisa define-se uma função que representa a escolha do tamanho do impacto das inovações drásticas, com rendimentos decrescentes (maiores inovações são mais difíceis de obter, principalmente nas condições de livre concorrência) e o produto dessa função pelo próprio tamanho da inovação seria representado por uma função côncava, o que impõe que sua derivada segunda seja também negativa.

Como mostram Aghion & Howitt (1998:77,78), a introdução dessa função, além da variável de controle relacionada ao gasto com pesquisa, não altera substancialmente a diferença entre os efeitos privados e sociais da pesquisa em relação ao caso em que o inovador só decide o quanto de gasto realizaria em P&D. Entretanto, para eles a decisão de pesquisa feita sob a ótica de concorrência, descentralizada, não só leva a menos pesquisa, quanto a um tamanho ótimo menor da pesquisa, caso esse tipo de variável fosse alvo de escolha *ex-ante*¹²⁹.

A formulação que será a base dos modelos apresentados adiante toma como pressuposto que o *mix* de pesquisas já foi decidido. Esse *mix* de modalidades de pesquisa resulta em certo impacto, sendo, pois, uma formulação mais agregada do que a apresentamos no item 4.2, em que a preocupação do agente decisório era focalizada na modalidade de pesquisa e seu conseqüente tipo de impacto. Desse ponto de vista, a formulação "schumpeteriana" aqui apresentada no máximo preocupa-se com "tamanhos variados" de γ e não com suas diferentes modalidades de impacto.

de inovação", principalmente utilizando o poder econômico obtido pelos sobre-lucros passados para estabelecer acordos de cooperação e influenciar programas de pesquisa.

Poderíamos estender esse raciocínio perguntando quão importante seria levar em conta a composição do gasto de pesquisa e não somente o gasto agregado de pesquisa. Essa composição poderia determinar diferentes trajetórias ao longo do tempo. Para complicar ainda mais, vimos na Figura 6.1 que, se existir uma relação entre gasto de pesquisa n e a “taxa de chegada de inovação”, a possibilidade do surgimento de múltiplos pontos de equilíbrio introduzem o que chamamos de “efeitos de limiar”. O problema aumentaria ainda mais se esse efeito estivesse associado a diferentes oportunidades tecnológicas associadas a diferentes modalidades de inovação, por exemplo, entre as modalidades n e m apresentadas em 4.2.

Ainda considerando os “efeitos composição do *mix* de pesquisa”, David, Hall & O’Toole (1999) apontam a relevância da pesquisa fundamental para a sustentação de resultados de longo prazo da pesquisa. Isso significa reconhecer que a composição intertemporal dos gastos de pesquisa afetaria o tamanho das inovações.

Tais considerações contribuem para alertar para a forte simplificação envolvida ao considerar o tamanho das inovações como um parâmetro fixo, seja entre as modalidades disponíveis, seja ao longo do tempo, relacionando o gasto de inovação apenas com a “taxa de chegada de inovações”.

Vimos de forma bastante intuitiva que ao processo inovativo corresponde um efeito de “destruição do competidor” pela inovação e que um dos possíveis resultados desse processo seria que o inovador não seria capaz de perceber integralmente, em seu processo de decisão de quanto inovar e também de determinar o tamanho da inovação, ou seja, o fato de que inovar contribui para o crescimento e também para a probabilidade de obter inovações posteriores. Cabe todavia precisar melhor a idéia já apresentada acima, de que o efeito de *spill over* daria uma vantagem para o incumbente inovador em relação ao estabelecido.

“Arrow’s replacement effect”, preço de exclusão e o papel das economias de aprendizado

Vejamos que tipos de efeitos podem estar associados aos impactos da inovação drástica, em um modelo verticalizado. Tomando como base a existência do parâmetro $\lambda > 0$, que indica a produtividade da pesquisa tecnológica, considera-se que o monopolista apropria-se de parte da

¹²⁹Sugerimos a leitura de David & Hall (1999) e Geopi (2000) para uma discussão sobre avaliação *ex-ante* das

renda gerada com pesquisa, logo, inferior ao total gerado no valor de λV_{t+1} , sendo esse último termo o valor esperado presente da inovação no momento posterior a seu lançamento.

O resultado desse processo é que o retorno líquido em $t+1$, medido como custo de oportunidade da atividade pesquisa, é¹³⁰: $rV_{t+1} = \pi_{t+1} - \lambda n_{t+1} V_{t+1}$ ou $V_{t+1} = \pi_{t+1} / (r + \lambda n_{t+1})$, ou seja, um valor obtido pelo desconto do lucro esperado pelo inovador no período, do efeito da inovação sobre os incumbentes, valor que depende da taxa de chegada para cada indivíduo, do número de indivíduos envolvidos na pesquisa e do efeito econômico da inovação. Esse lucro é recebido até que, em $t+1$, o incumbente seja deslocado a uma probabilidade λn_{t+1} (Aghion & Howitt, 1998:55,56)¹³¹. Outra maneira de explicar é que o valor da inovação para o incumbente em $t+1$ é descontado pela taxa de juros r mais a probabilidade de ocorrência de uma inovação nesse mesmo período. Note que essa é apenas a formulação mais simples do mecanismo de substituição do incumbente pela inovador, também chamado de *replacement effect* por Arrow (1962).

Reafirmamos que esse mecanismo ocorre em função da possibilidade de apropriação do conhecimento gerado pelo inovador que, de certa forma, tem a “sorte” de ser o inovador da vez. O incumbente, por seu turno, tem um ganho adicional menor do que aquele que vai diretamente à frente. A maior parte dos efeitos que vamos caracterizar a seguir depende desse raciocínio básico. O problema está posto, pois, na concepção de processo inovativo dos modelos “schumpeterianos”, que, diga-se de passagem, é similar àquela apresentada em 4.2, identificada com a Teoria da Inovação Induzida. Caso a inovação ocorra em “clusters” ou ao longo de trajetórias (com *path dependence*), a vantagem do inovador *outsider* seria reduzida em função da impossibilidade de “pegar carona” no conhecimento acumulado ao longo da evolução do parâmetro A . Ainda assim, existem indústrias, como a farmacêutica, em que o lançamento de um

pesquisas.

¹³⁰ Formulação baseada diretamente no conceito de taxa de juros como taxa instantânea de crescimento, $d \ln V / dt$.

¹³¹ Como já apontamos nesse item, considerar λn_{t+1} como a “taxa de chegada da inovação” é uma simplificação destinada a evitar os efeitos da variação de n sobre o parâmetro da distribuição de Poisson, λ .

produto novo tem um efeito de destruição criadora que desloca os incumbentes e que está associado a um processo estocástico.¹³²

Podemos exemplificar como poderia ocorrer esse mecanismo “schumpeteriano” de substituição em uma situação multissetorial. Usaremos com base o exemplo, extremamente simplificado, apresentado em Barro & Sala-I-Martin (1985, cap7). Definimos a função de produção introduzindo o que Grossman & Helpman (1991) chamam de *quality ladders*, um parâmetro γ associado ao nível de qualidade. Pode-se perceber que essa formulação não difere na essência da apresentada acima, para a inovação verticalizada.

Existe um nível máximo de qualidade a cada instante, γ^t , que permite ajustar a quantidade necessária do bem intermediário para que o nível de qualidade seja mantido. A função agregada para I setores produtores de bens intermediários fica como $Y = A \sum_{i=1}^I (\gamma^t x_i)^\alpha$. Quando as empresas investem um certo montante em pesquisa para atingir o valor máximo de qualidade, o custo do bem é igual a uma unidade do produto final, padronizando então o teto de qualidade para 1, ou seja, o preço do bem final foi normalizado para 1, pois trabalha-se com preços relativos.

Como vimos, o setor que investe em P&D visando qualidade é monopolista. Seguindo o procedimento idêntico ao apresentado acima, obtemos as equações que expressam a quantidade ótima demandada do bem intermediário e o lucro ótimo que deve ser obtido pelo inovador que invista n_t unidades de trabalho qualificado em P&D, ou seja, a expressão (6.5) e que $\pi^* = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right) x_t$. É muito fácil observar que $p = 1/\alpha$ é o que o monopolista cobraria visando a maximizar o lucro. É só substituir na equação de demanda inversa pelo bem intermediário e verificar que esse valor corresponde às condições de ótimo apontadas acima.

O efeito de substituição pode então ser definido: o incumbente que não inova necessita, segundo a função de produção acima, ajustar seu preço à menor qualidade de seu produto, logo vende a $p = (\gamma\alpha)^{-1}$. Se esse valor for menor que 1, não há lucro possível (uma vez que

¹³² Nightingale (1999) mostra como a indústria farmacêutica busca reduzir sua dependência desses processos estocásticos introduzindo as inovações biotecnológicas em suas rotinas de investigação.

$\pi = (p-1)x_{it}$, por construção) e o incumbente é retirado do mercado. Caso seja maior que 1 (ou $\gamma\alpha < 1$), há ainda espaço para competição que leva à eliminação da empresa com qualidade no limite da lucratividade. Uma competição do tipo *Bertrand* leva o preço ao limite inferior de 1 para os incumbentes e para o inovador o preço-limite é de γ (dada a vantagem em qualidade do inovador). Abaixo disso, o inovador exclui os concorrentes.

Trata-se de um modelo bastante simples, que combina decisão de criação de variedade e um processo de seleção via preço bem definido. Seria possível incluir, além dos efeitos de obsolescência causados pelas inovações discretas, o papel das economias de aprendizado (*learning by doing, LBD*), no contexto de um *trade off* entre alocar o capital humano em atividades de pesquisa de amplo alcance ou em atividades de aprendizado.¹³³

A idéia básica é que *LBD* e gastos de pesquisa produzem efeitos complementares. Melhor explicando, os dois contribuem para o aumento do conhecimento geral (parâmetro A_t) que vai sendo apropriado pelas sucessivas gerações e que são a base para a obtenção de inovações posteriores. Essas inovações secundárias ocorrem, obviamente, em cada firma e a conceituação do processo de *LBD* varia com o tipo de modelo que se está desenvolvendo, suas ênfases e limitações.¹³⁴

As limitações podem ser impostas às diferenças setoriais no processo de *LBD* (o grau de conhecimento tácito-específico envolvido em sua geração) e também na apropriação de seus efeitos pelos inovadores. O modelo mais simples associa diretamente o processo de *LBD* ao processo de obtenção de inovações primárias. A decisão de alocar capital humano H^r para obter inovações é acompanhada pela obtenção de incrementos de qualidade, cujos resultados fluem para toda a economia.

O produto “aumento de qualidade” vem junto com o produto resultante da inovação. Dessa forma, *LBD* seria dado por:

$$dZ_a/da = \int_0^{\infty} \lambda^r H^r \lambda^d (x_s)^{1-\nu} ds; a > 0 \quad (6.7)$$

¹³³ Envolveria, por exemplo, o *trade off* real entre alocar pesquisadores para “alongar” o perfil dos programas de pesquisa da indústria farmacêutica ou em projetos do tipo genoma em biotecnologia. Ver David & Hall (1999); Fonseca & Silveira (2001). Ver também a nota 128.

¹³⁴ Ver Almeida (1996) para uma síntese sobre modelos com decisão involuntária e voluntária de realizar *LBD*.

em que Z_a seria a qualidade associada a uma certa idade a , de um *continuum* de bens intermediários de diferentes safras. A primeira parte do termo dentro da integral representaria a taxa de lançamento de inovações (primárias). O segundo termo seria composto de uma taxa λ^d de produtividade do aprendizado (que seria específica por setor) e por uma *proxy* do efeito de se alocar trabalho para produzir bens intermediários de uma determinada idade. A complementaridade fica então evidente: quanto mais perto da fronteira e quanto mais recente a safra, mais sua contribuição para o conhecimento geral que ao mesmo tempo é potencializado pela melhoria de qualidade.

Esse efeito de retro-alimentação (ainda que limitado pelas restrições do modelo) faria com que tanto a geração de inovações quanto o *LBD* contribuíssem positivamente para o crescimento econômico. Todavia, como já vimos acima, o efeito da destruição criadora levaria as empresas inovadoras a deslocar empresas incumbentes e isso teria um efeito negativo sobre o crescimento na proporção da dificuldade de apropriação dos ganhos de monopólio. Além disso, como mostra Lucas (1993), a maior mobilidade intersetorial de trabalhadores poderia fazer com que parte considerável deles fossem para os setores com maiores economias de aprendizado. Com isso, o *LBD* reforçaria o efeito *crowding out* que apresentaremos mais adiante.

Um rápido crescimento de setores de ponta, sem a progressiva incorporação de *LBD*, poderia comprometer o crescimento de longo prazo, pois resultaria em alocação excessiva de capital humano em pesquisa. O estímulo econômico para alocar capital humano em pesquisa seria maior que seu impacto no crescimento a longo prazo. Dessa possibilidade são tiradas lições para o desenvolvimento dos países e para o processo educacional. Ver David, Hall & O'Toole (1999) para uma síntese desses argumentos.

De qualquer forma, fica claro que o efeito das economias de aprendizado, ocorrendo em função da produção corrente, segundo processos voluntários e involuntários, também depende de um processo de formação de expectativas de mais longo prazo, que afeta as decisões de alocar capital humano (e outros tipos de capital, como discutiremos à frente) em pesquisa. Uma expectativa de maior taxa de crescimento tende a favorecer a alocação de recursos em pesquisa, independente de os efeitos do *LBD* favorecerem toda a economia ou serem apropriados privadamente (no caso em que os processos de aprendizado geram conhecimentos tácitos-específicos).

Situações transitórias podem afetar esses mecanismos de retro-alimentação. Todavia, mesmo no estado estacionário, pode ocorrer que quando os processos de aprendizado forem muito importantes para o crescimento e a porcentagem de trabalhadores aptos para a pesquisa (dado por um parâmetro adicional ν - ver expressão(6.7)) for pequena, haja alocação excessiva de capital humano em pesquisa.¹³⁵

Por outro lado, também situações correspondentes ao estado estacionário podem resultar em alocação de capital humano em pesquisa menor que o desejável (ver David & Hall, 1999), comprometendo a taxa de crescimento de longo prazo, em função da diferença de comportamento em relação à decisão de investir em pesquisa (em relação à decisão de alocar capital humano na produção) e o efeito da pesquisa e do *LBD* no crescimento.

A classe de modelos que apresentamos, incluindo ou não o *LDB*, minimizam o efeito da inovação na transformação das estruturas de mercado, reduzindo o papel dos efeitos das inovações primárias e também das secundárias, na criação de assimetrias entre empresas. Os trabalhos de Cohen & Levinthal (1989) e de Bach & Willanger (1999) – para citar apenas dois trabalhos atuais de uma vasta literatura evolucionista - coerentemente com os fatos estilizados do capitalismo moderno, tendem a dar vantagens aos incumbentes na geração de inovações, criando fenômenos de dependência do caminho percorrido. Há também que considerar outras estruturas de mercado, que não aquelas derivadas da competição em preço do tipo *Bertrand*. Isto explicaria a sobrevivência dos incumbentes e mesmo estratégias deliberadamente voltadas para produtos de menor qualidade por parte de algumas empresas.

Em resumo, a contribuição à crítica da Teoria da Inovação Induzida está no reforço que a incorporação de *LBD* dá à idéia de que a decisão de investir em uma modalidade de pesquisa poupadora do fator escasso gera efeitos que não se limitam aos esperados pela decisão de gasto. Os efeitos que apresentamos - mesmo que por meio de modelos que impõem fortes restrições ao comportamento dos agentes e reduzem a importância da incerteza - não estão sujeitos a uma

¹³⁵ Situação excessiva em relação a uma condição de estado estacionário, ou seja, que o valor a ser pago para um trabalhador industrial na indústria ou setor que sofre o *upgrade* (e que, por isso, ainda necessita de desenvolvimento de qualidade, o *LBD*). Implica aceitar uma condição de arbitragem entre alocar capital em pesquisa e em produção (realizando *LBD*), ou seja, $V^R = V^P$. Essa condição dependeria, como é usual, do valor da taxa de juros de longo prazo, do parâmetro relativo à taxa de *upgrade*, σ - um tipo específico de elasticidade de substituição - e dos parâmetros da função de produção que estariam relacionados ao comportamento do mercado, α no caso de uma função próxima

decisão poupadora do fator escasso e sim a mecanismos de retro-alimentação que juntam, no mesmo processo, diferentes modalidades de capital. Isso, em parte, já havia sido aventado no modelo descrito em 4.2. Há, todavia, um ponto de contato com a idéia de meta-função de produção e da Fronteira de Possibilidades de Inovação-FPI, que se refere ao fato de que os efeitos de destruição criadora e o afastamento da fronteira de setores com menor potencial de aprendizado estão subordinados a uma percepção de mais longo prazo da importância do esforço inovativo e de seus efeitos sobre a criação de um estoque cada vez maior de conhecimento.

"Spill over intertemporal", apropriabilidade e o business stealing effect em um contexto de equilíbrio geral

A análise seguinte busca definir com precisão os efeitos mencionados no início deste item, a saber: os efeitos de *spill over* intertemporal, o efeito de apropriabilidade e o chamado "*business stealing effect*", ou seja, o efeito derivado da não percepção privada de como o processo inovador acelera a obsolescência tecnológica e elimina parte do capital existente.¹³⁶ A mensuração dos efeitos depende, pois, de reconhecer o papel diferenciado dos agentes privados e sociais (na figura do ditador esclarecido) no processo de inovação tecnológica e de suas conseqüências para o crescimento.

Iniciamos pela idéia de que o esforço individual de pesquisa está sujeito à equação de arbitragem entre o salário pago ao pesquisador e o ganho derivado da inovação, mensurado por λV_t , que, como vimos, é o valor esperado do produto marginal da pesquisa.¹³⁷ Dada a limitação imposta pelo estoque de trabalho $L=n+x$, a condição de arbitragem permite encontrar uma solução particular para o modelo (ver Grossman & Helpman, 1991) compatível com o

à Cobb-Douglas. Também teria que se supor algum tipo de comportamento intertemporal, por exemplo, um consumidor com uma função de preferência aditiva e com duração infinita.

¹³⁶ Aponta-se como uma das motivações para e fusões e aquisições a redução de gastos de P&D. Um exemplo é a fusão Dow-Chemical e Union Carbide, do setor químico petroquímico. Nesse caso, o efeito motivador da fusão seria a percepção tanto do efeito negativo sobre as decisões do *spill over* intertemporal quanto a busca de reforço do mecanismos de apropriabilidade. Por outro lado, analistas de defesa da concorrência apontariam os ganhos de eficiência provenientes dessa fusão no sentido em que ela permitiria coordenar melhor os efeitos do processo inovativo, criando assim um estímulo à inovação futura e facilitando os mecanismos de coordenação do esforço de P&D.

¹³⁷ A aparente simplicidade dessa condição tem por base teórica o uso de um instrumental de programação dinâmica bastante sofisticado e sujeito a certos pressupostos bastante restritivos. Ver nota 124.

crescimento no estado estacionário, ou seja, impondo as condições de transversalidade necessárias a uma consistência dinâmica do crescimento balanceado.

O crescimento balanceado de equilíbrio é definido como a solução do sistema que combina a equação de arbitragem com a restrição imposta por

$$L = n + x(\omega) \quad (6.8)$$

em que $\omega_t = \omega$ e $n_t = n$. Por seu turno, $\omega_t = \frac{w_t}{A_t}$ representa o salário ajustado pela produtividade¹³⁸.

A solução, obtida por substituição de x a partir de (6.5) é então:

$$r + \lambda n = \lambda \frac{1-\alpha}{\alpha} (L - n) \quad (6.9)$$

A equação (6.9) expressa n como uma função decrescente de α , que, como vimos, representa a elasticidade de demanda enfrentada pelo monopolista intermediário. Quanto maior essa elasticidade, menor o volume de recursos destinados à pesquisa. Tal resultado é coerente com o apresentado em 4.2, em que o efeito de viés, quando o setor produtor de bens intermediários é monopolista, sofre um efeito de neutralização parcial à medida que aumenta a elasticidade de substituição do bem intermediário, limitando o poder da firma monopolista. A solução apresentada acima representa o caso em que agentes privados decidem, por meio da equação de arbitragem, o quanto de trabalho deve ser alocado na pesquisa. A taxa superior à taxa de juros r indica a percepção do agente privado do efeito da inovação sobre o rendimento futuro da inovação (que chamamos acima de *replacement effect*).

Vamos introduzir agora um processo de decisão tal como seria tomado por um “planejador central”.

Para definirmos a noção de *spill over* intertemporal necessitamos formular o problema de maximização da utilidade intertemporal por um planejador central. Parte-se da definição de uma função utilidade intertemporal associada à estrutura de organização produtiva apresentada no

¹³⁸A relação entre gasto com inovação e seu efeito na “taxa de chegada de inovações” é estabelecida de forma direta, a mais simples possível. No início deste item apresentamos uma formulação mais geral. Aghion & Howitt (1996:15) apresentam o modelo mais sofisticado, relacionando o esforço de pesquisa ao capital dedicado à pesquisa.

início desse item. A diferença em relação ao processo decisório do investidor privado é que o planejador central internaliza uma função de produção (que poderia ser considerada uma meta-função) $y(t)$ que está sujeita a um processo de transformação no parâmetro relacionado à tecnologia, que em linhas gerais segue o que apresentamos em 4.1.2. A função objetivo corresponde a maximizar o valor presente esperado do consumo sujeita a uma função de produção de bens finais em que o parâmetro de eficiência evolui segundo o tamanho das inovações, ou seja, um processo a diferenças cuja solução é $A_t = A_0 \gamma^t$.¹³⁹

Como esse parâmetro evolui na visão do planejador central? Considerando um processo de Poisson, com parâmetro λn , relacionado ao surgimento de τ inovações em um período de tempo t , pode-se obter uma expressão da função utilidade em função dos gastos em pesquisa (representado por n), que é resultado da resolução da função utilidade geral. A expressão da função utilidade, elaborada por Aghion e Howitt (1998:61) ajuda a compreender como o “planejador central” difere em sua avaliação de gastos de pesquisa da perspectiva do agente privado.

$$U = \int_0^{\infty} e^{-rt} \left(\sum_{\tau=0}^{\infty} \Pi(t, \tau) A_t x^\alpha \right) dt$$

em que

$$\Pi(t, \tau) = \frac{(\lambda n t)^\tau}{\tau!} e^{-\lambda n t} \quad (6.10)$$

Segundo a expressão (6.10), o planejador a cada diferencial de tempo considera a contribuição para a utilidade de todo o conjunto de inovações geradas e não apenas aquelas correspondentes ao período em que o efeito de “criação destruidora” ainda não operou. Em outras palavras, mostra que a cada unidade temporal calcula-se o valor esperado da transformação do parâmetro de produtividade multiplicado pela quantidade de bens intermediários com que se decide produzir e com isso gerar bens de consumo (trata-se de um modelo que não especifica o *trade-off* entre capital e consumo).

Integrando o processo de 0 a ∞ e expressando a função utilidade em n , obtém-se:

¹³⁹ Cabe lembrar que τ refere-se ao indexador do surgimento de inovações e t é o tempo. A compatibilização entre essas duas dimensões é fundamental e foi explicitada em 4.1.2.

$$U(n) = \frac{A_0(L-n)^\alpha}{r - \lambda n(\gamma - 1)}$$

(6.11) e a partir dela chega-se facilmente na condição de primeira ordem, que define o nível ótimo de gasto em pesquisa, n^* . A expressão (6.12) pode ser comparada à expressão (6.9), visando a obter a expressão do *spill over* intertemporal.

$$r - \lambda n^*(\gamma - 1) = \lambda(\gamma - 1)(1/\alpha)(L - n^*) \quad (6.12)$$

Obtém-se o valor do gasto em pesquisa que corresponde às expectativas de maximização do retorno social da pesquisa pelo planejador central. Esse resultado pode ser aplicado no cálculo da taxa de crescimento da economia, segundo o critério social, como $g = \lambda n^* \ln \gamma$. Resta compará-la com a decisão de gasto baseada no critério privado, obtendo-se assim, por diferença, o valor do *spill over* intertemporal.

O agente privado não observa o efeito persistente da inovação, que depende de seu tamanho, γ . Com isto, a taxa exigida para o investimento em P&D no caso social do planejamento central é menor que no caso privado, ou seja, $n^* > n$. Em outras palavras, consegue-se contratar mais pesquisadores por um mesmo salário ajustado pela produtividade ω , em função do maior retorno esperado no caso social que no privado. Define-se então o *spill over* intertemporal como $\lambda n \gamma$, que depende da “taxa de chegada da inovação de seu tamanho e da decisão no tempo t do gasto em pesquisa. Para a sociedade o conhecimento acumulado ou a nova qualidade originada da pesquisa continua disponível, o que não é percebido pelo inovador e, por isso mesmo, as exigências impostas pela equação de arbitragem para a contratação de pesquisadores (representando nesse modelo simples os gastos em pesquisa) são menores segundo o tamanho do *spill over intertemporal*.¹⁴⁰

Dois outros tipos de efeitos podem ser detectados a partir da comparação das expressões (6.12) e (6.9). O primeiro deles é o efeito de apropriabilidade, representado por $(1 - \alpha)$, presente na última expressão e que detecta a incapacidade de apropriação pelo agente privado de todo o fluxo de inovação. Quanto maior α , maior a dificuldade de apropriação pelo monopólio do fluxo

de renda gerado, ou seja, quanto mais competitivo o mercado, menor o incentivo à inovação privada.¹⁴⁰

O segundo, mais importante, chamado *business stealing effect*, é medido pela diferença entre o fator $(\gamma - 1)$, **que multiplica todo o numerador no caso social** e γ , que aparece no caso privado. A diferença se deve ao fato de que o planejador central considera o efeito de destruição causado pela inovação, que não é considerado pelo agente privado. Resulta que o caso privado estimularia mais a pesquisa que o social, efeito contrabalançado pelos dois efeitos anteriores. A clareza com que esses efeitos foram isolados se deve basicamente à escolha da função de produção, que adota uma elasticidade de substituição constante e unitária. Esses efeitos seriam mais confusos na presença de diferentes elasticidades de substituição nos setores. O caso claro é do efeito de apropriabilidade, cuja relação com viés foi apresentado em 4.2.

O tratamento da relação entre estrutura de mercado e tecnologia é extremamente simplificado no cálculo desses efeitos. O efeito de apropriabilidade, por exemplo, pode ser implementado pela escolha deliberada da direção tecnológica. A essa busca por tecnologias que garantissem uma maior apropriabilidade – que não dependeriam apenas do comportamento do mercado - corresponderia um maior incentivo a inovar, afetando a equação de arbitragem (6.9), que por seu turno permitiria aperfeiçoar os mecanismos de apropriabilidade, configurando o que os “neoschumpeterianos”, especificamente Dosi (1988), denominam “trajetória tecnológica”. Esse resultado aumentaria a “taxa de chegada” de certas inovações e não de outras, deslocando, em um contexto multissetorial, os esforços de pesquisa para aqueles setores em que a interação apropriabilidade/elevação das oportunidades tecnológicas fosse mais intensa.

Dessa forma, o resultado de que o gasto privado seria menor do que o gasto social poderia ser alterado. Um exemplo clássico, discutido por Silveira (1985) e por Ducos & Joly (1991) é o do milho híbrido, em que a construção de mecanismos biológicos de apropriabilidade potencializou o uso cada vez mais amplo de material genético e, como consequência, elevou a

¹⁴⁰ Alston & Pardley (1999) mostram que para o sistema de pesquisa agrícola a persistência do efeito dos choques causados pela introdução de inovações dura por um período muito maior do que era considerado pelas análises custo/benefício tradicionais.

¹⁴¹ Alertamos novamente que esse resultado refere-se a uma noção de competição derivada da elasticidade da curva de demanda enfrentada pelo inovador, ponto muito criticado em trabalhos de economia, por exemplo, Nelson e Winter (1982). Ver Cabellero & Jaffé (1993) para uma discussão da relação entre o efeito de apropriabilidade e o pequeno volume dedicado à pesquisa privada na linha que estamos desenvolvendo neste trabalho.

“taxa de chegada de inovações”, sem que o mecanismo de destruição criadora, que opera de forma clara no mercado de sementes melhoradas, tenha resultado na substituição de firmas inovadoras.

Reafirmamos que o modelo que chamamos “schumpeteriano”, conquanto enfatize o *replacement effect*, o que poderia parecer irrealista face ao efeito das inovações tecnológicas sobre as estruturas de mercado, não deixa de ter interesse ao ressaltar o papel da destruição criadora, tão comum em indústrias em que a inovação de produtos (que podem ser insumos ou bens intermediários) é fundamental para a concorrência (no sentido “neoschumpeteriano” do termo). Há vários exemplos de empresas farmacêuticas a ponto de serem colocadas fora do mercado que “ressurgiram das cinzas” com um produto inovador, beneficiando-se do avanço obtido no conhecimento comum desse setor.¹⁴²

Finalmente, é importante perceber que o planejador central tem noção do desperdício inerente à atividade de pesquisa em contexto de rivalidade oligopólica. Esse é um dos argumentos centrais utilizados por David & Hall (1999) e David, Hall & O’Toole (1999) para contestar o raciocínio simplista que imputa à atividade pública de pesquisa um efeito *crowding out*, cuja justificativa esteja centrada apenas em seu efeito negativo sobre o grau de apropriabilidade do esforço privado de pesquisa. A pesquisa pública, cujo processo decisório estaria mais próximo daquele que estilizamos como sendo o do planejador central, não só contribuiria para o aumento do conhecimento comum, na forma de *spill over*, como seria capaz de disciplinar as tendências inovadoras, evitando o desperdício decorrente do que chamamos de *business stealing effect*.

A apresentação que fizemos dos efeitos da inovação em uma economia verticalizada, com apenas um produto final, é bastante útil à crítica da Teoria da Inovação Induzida. Fica evidente que o agente que decide a inovação não é apenas induzido pela percepção das vantagens de redução de custo sinalizada pelos preços relativos de fatores. O agente busca no conhecimento comum um meio de deslocar o incumbente e involuntariamente faz avançar o estoque de conhecimento comum. A idéia de que os efeitos de inovação induzida em alguns setores poderiam ser captados por instituições públicas (de Janvry, 1985) traz novos elementos

¹⁴² A possibilidade de modelar a probabilidade de sucesso com inovação do tipo “*inventing around*”, muito comum na indústria farmacêutica, seria outra forma de apropriação do conhecimento comum gerado pela pesquisa. Todavia, o efeito sobre os gastos de P&D seria dúbio: por um lado, estimularia a pesquisa; por outro, diminuiria o lucro de monopólio.

complicadores à análise, uma vez que essas instituições públicas possivelmente têm a percepção pública dos efeitos negativos decorrentes do “excesso” de gasto em pesquisa determinado pelo processo “schumpeteriano”, não sendo, pois, apenas instrumentos de transmissão dos sinais de indução para o setor privado. São, isso sim, um elemento a contribuir para a maior complexidade das relações intersetoriais de pesquisa, como mostra, por exemplo, a situação representada na Figura 6.1.

A discussão pede então um tratamento que possa ao menos incluir os efeitos dos setores uns nos outros. O modelo apresentado a seguir é uma forma bastante estilizada de apresentar um problema cujo grau de complexidade exigiria outros recursos matemáticos, muito mais avançados, como mostra o trabalho de Aoki (1996).

6.2 O impacto multissetorial da inovação: evolução da fronteira de inovação e o efeito *Crowding Out*

Dois pontos são trazidos à discussão com o modelo multissetorial. O primeiro é o reconhecimento de um “conhecimento comum” mais amplo que o formulado anteriormente e que evolui no tempo com a contribuição dos esforços inovativos feitos no passado. Um outro refere-se à seguinte questão: qual seria o efeito da inovação sobre a interrelação entre setores? O efeito resultante dessa interação poderia ser de “*crowding out*”, na medida em que passaria a existir a possibilidade de que um conjunto de “trajetórias setorialmente distintas” determinasse a existência de setores defasados devido à tecnologia (*lagged behind*).

Cabe então apresentar uma forma de tratar o problema do impacto da inovação feita de forma descentralizada, mas com base em um conhecimento comum. Para tanto, um primeiro passo é considerar a existência de um invariante: a distribuição dos parâmetros que exprimem as produtividades relativas seria independente do comportamento do fluxo de inovações. Isso permite supor que as inovações vão surgindo nos distintos setores segundo suas taxas de chegada e isso não está sendo afetado pela situação em que cada setor se encontra em relação a uma fronteira tecnológica.

O segundo passo é definir a idéia de fronteira¹⁴³, por meio de um parâmetro A_{max} , que é definido a cada momento no tempo, por exemplo, em t_0 (segundo o apresentado em 4.1.2).

O terceiro passo é modelar esse processo, por exemplo, por meio de uma equação diferencial que expresse o comportamento de $\Phi(t)$ no tempo (decaimento exponencial). Partindo de uma $F(.)$ de distribuição acumulada de probabilidade do parâmetro A entre os setores – forma usual no tratamento dos modelos de difusão – é então possível, dada a existência de A_{max} , definir $F(A, t) = \Phi(t)$, em que $\Phi(t_0) = 1$ (*leading edge*) e $\frac{d\Phi(t)}{dt} = -\Phi(t)\lambda n_t$. Essa equação diferencial mostra o “decaimento” do número de setores que estão abaixo da fronteira, depois de t_0 , e como ele depende da “taxa de chegada” da inovação nos setores. Sua solução única é simples:

$$\Phi_t = e^{-\lambda \int_0^t n_s ds} \quad (6.13)$$

sendo n_s o emprego em cada setor s .

Modeliza-se em seguida o deslocamento da fronteira, que é função do processo de inovação, como na apresentação do efeito "schumpeteriano" acima. Sabendo que no momento t_0 , $A = A_{max}$, define-se a condição inicial do processo e facilmente se obtém a solução geral da equação de movimento da fronteira:

$$A_t^{max} = A e^{\lambda \ln \gamma \int_0^t n_s ds} \quad \text{para todo } t \geq t_0. \quad (6.14)$$

A expressão (6.14) mostra que o deslocamento da fronteira é tributário das inovações que vão sendo feitas nos setores, definindo o mecanismo de *spill over* intersectorial. Ele permite que a cada descoberta feita por um incumbente, o próximo inovador possa fazer uma descoberta marginalmente diferente, inclusive em outro setor, pois o conhecimento comum estaria sendo ampliado.

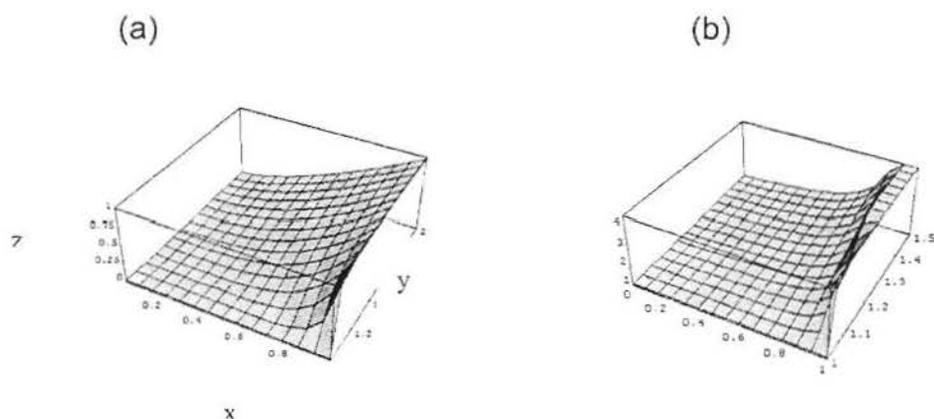
¹⁴³ Para uma discussão sobre as diferentes formas de tratamento da fronteira tecnológica, ver Sadoulet & de Janvry (1995).

Finalmente, obtém-se a expressão da função de distribuição acumulada em função do deslocamento da fronteira e do processo de decaimento dos “lagged behind”. A combinação das duas soluções (6.13) e (6.14) resulta em¹⁴⁴:

$$\Phi_t = \left(\frac{A_{tr}}{A^{\max}} \right)^{1/\ln \gamma} \quad (6.15)$$

A equação(6.15) fornece a fração dos setores em que o parâmetro de produtividade, em um dado tempo t , é menor que A , que é o produto da produtividade relativa A/A^{\max} ; que chamamos de “ a ”, vezes a produtividade máxima a cada instante no tempo. Esse invariante permite chegar à distribuição *cross section* de a , como sendo $H(a) = a^{\frac{1}{\ln \gamma}}$, que é independente, no longo prazo, da equação (6.14).

Figura 6.2. Valores de $H(a)$ (eixo z) segundo os valores de a (eixo x) e de γ (eixo y) (A).



Quanto maior o tamanho da inovação, mais aumenta a probabilidade de ocorrência de valores baixos de a o que é coerente com a idéia de efeito "schumpeteriano". A Figura 6.2 (a) mostra que esse resultado “satura” rapidamente quando o tamanho da inovação se aproxima do valor 2, principalmente para valores mais elevados de a . Entre 1 e 1,26 há baixa probabilidade de setores defasados, a substituição entre setores é suave, sendo possível pensar no caso de *catching up* setorial, ou seja, de inovações contínuas. A Figura 6.2 (b) mostra os valores

¹⁴⁴ A prova da independência da distribuição em relação ao deslocamento da fronteira tecnológica é apresentada em Howitt (1999:721 e apêndice A). Note que $\ln \gamma$ é uma expressão particular do efeito da inovação, coerente com a expressão (6.4), resultante do impacto verticalizado que estamos tomando como referência.

assumidos por $\left(1 + \frac{\ln \gamma}{1 - \alpha}\right)$, que é o recíproco da integral no intervalo $[0,1]$, ou seja, da integral dos setores indexados pela distância da fronteira, ponderado por $a^{1-\alpha}$, resultante do processo da avaliação dos setores segundo sua eficiência relativa. Percebe-se que 8(a) e 8(b) são muito semelhantes, ainda que em uma escala distinta. A razão é simples: é a distribuição de $H(a)$ que determina o comportamento das duas funções. (Veremos o significado preciso dessa expressão mais à frente).

Podemos resumir a definição dos *spillovers intersetoriais* nos seguintes pontos:

Define-se uma taxa de crescimento associada à inovação (que chamamos de λ em (3.1)¹⁴⁵), g_t , como a taxa de expansão da fronteira de inovação associada à ampliação do conhecimento comum.

Esse processo depende de um fator ϖ , que mede o impacto marginal das inovações no estoque de conhecimento público. Esse fator de proporcionalidade pode ter seu impacto diluído pela maior complexidade da economia. (por exemplo, sendo dividido pelo número Q_t de setores, como o faz Howitt, 1998).

Teríamos então que $g_t = \varpi \lambda \phi(n_t)$, formulação geral, que nos permite obter a relação entre o *leading edge* (A_t^{\max}) e o valor médio das inovações a cada momento t .

Para isso foram feitos alguns pressupostos:

a) Que a distribuição dos parâmetros de produtividade para cada produto resultante do processo de inovação (imitação, pois usa o conhecimento na produção de outro produto) é idêntica à distribuição entre os produtos existentes nessa data;

b) Que as imitações não afetam o parâmetro médio, ou seja, as inovações horizontais não mudam a distribuição dos parâmetros de produtividade, só as verticais.

c) Que a inovação substitui algum produtor com produtividade A_{it} , escolhido de forma aleatória.¹⁴⁶

Com isso obtém-se o resultado expresso na equação (6.15), caracterizando um modelo do tipo *band wagon* que permite reduzir o efeito da variabilidade entre setores a uma distribuição de probabilidade acumulada da distância dos setores à fronteira, o que pressupõe estimar o parâmetro $\ln \gamma$ como se ele fosse independente do efeito variedade entre setores. A fronteira tecnológica desloca-se sem que isso interfira na distribuição dos setores no seu posicionamento em relação à própria fronteira. Isso evita, obviamente, a emergência de *path dependence*.

Na apresentação acima o problema intersetorial é tratado de uma forma bastante simplificada. Todavia, a maneira de expressar as diferenças intersetoriais das “taxas de chegada” é importante e afeta as conclusões sobre as diferenças de crescimento do ponto de vista público e privado. O desenvolvimento proposto por Grossman & Helpman (1991) é bastante ilustrativo das dificuldades e limitações na construção de teorias de inovação e de seus impactos sobre o crescimento quando os agentes são distintos ou enfrentam diferentes contingências condicionando suas decisões.¹⁴⁷ Trata-se de impor às “taxas de chegada da inovação” dos diferentes setores, dentro da perspectiva de um modelo verticalizado, uma dependência do nível de qualidade (ou tecnológico) já obtido.

A função de inovação deve expressar um duplo efeito relacionado ao nível de qualidade já alcançado:

- a) um efeito positivo sobre o retorno esperado na pesquisa, relacionado à qualidade mais elevada;
- b) a probabilidade de inovar - diretamente relacionada ao parâmetro da eficiência do processo de inovação - torna-se menor quanto maior o nível de qualidade já alcançado.

O modelo desenvolvido por Grossman & Helpman (1991) parte de uma função de produção em que o “efeito em escada” da inovação é captado por uma variável q_{it} , indexada setorialmente e no tempo, ou seja, a cada instante existe uma diferenciação setorial quanto aos

¹⁴⁵ Deve-se dar atenção ao fato que usamos o mesmo símbolo λ com significados diversos em dois capítulos distintos do trabalho. O significado que a ele demos em 4.1.2 é o que prevalece nos modelos do presente capítulo e do próximo.

¹⁴⁶ Esse ponto é importante para diferenciar essa análise da proposta por Nelson & Winter (1982), em que ocorre uma transição entre períodos segundo um processo estocástico de memória de apenas um período, que descreve a característica de inovação localizada.

valores dessa variável. O modelo é pois, uma variante do que já foi apresentado. Interessa obter as condições de arbitragem e retirar conclusões sobre o impacto dos dois efeitos relacionados aos diferenciais de qualidade entre setores.

Assumindo-se que entre dois períodos existe um diferencial de qualidade γ que permite ao inovador impor um preço limite igual a $1/\alpha$ (ver o desenvolvimento feito para caracterizar o *Efeito II*), o lucro de monopólio é $\pi_{it} = \frac{1-\alpha}{\alpha} x_{it}$. Assumindo que $Cmg=1$, a quantidade do bem intermediário utilizado no setor

$$x_{it} = (\alpha^2 A q_{it}^\alpha)^{1/1-\alpha} \quad (6.16)$$

permite obter máximo lucro positivo.

O valor da inovação, mais uma vez, é dado por

$$V_{it} = \frac{\pi_{it}}{r + \lambda_{it} N_{it}} \quad (6.17)$$

ou seja, o lucro descontado pela taxa de juros mais a probabilidade de dar-se um “passo à frente” no nível de qualidade (Barro & Sala-I-Martin, 1995).

A condição de maximização do lucro esperado com a inovação $\arg \max_{N_{it}} \lambda_{it} N_{it} V_{it+1} - N_{it}$, resulta na condição de arbitragem $\lambda_{it} V_{it+1} = 1$. Utilizando (6.16) e (6.17) na equação de arbitragem, obtém-se a equação que dá o gasto em P&D em cada setor que permite analisar o (duplo) efeito do nível da qualidade alcançado sobre a inovação:

$$r + \lambda_{it+1} N_{it+1} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \lambda_{it} (\alpha^2 A q_{it+1}^\alpha)^{1/1-\alpha} \quad (6.18)$$

A equação (6.18) evidencia o duplo efeito associado ao nível da qualidade. Quanto maior q_{it+1} , maior o valor esperado da inovação, o que resulta em maior gasto de P&D. O outro efeito está associado ao efeito do nível alcançado, uma vez que $\lambda'(ti) < 0$. Para um dado gasto, quanto

¹⁴⁷ Para uma clara noção da complexidade envolvida quando se busca trabalhar com a mensuração de impactos de inovação sobre crescimento com base na diversidade do comportamento dos agentes, ver Aoki (1996).

maior o nível de qualidade alcançado, menor a probabilidade de inovar. Predominando o primeiro efeito, os setores mais avançados tendem a se distanciar e receber mais investimentos. Se maior for a importância do segundo efeito, haveria um deslocamento dos gastos de P&D para outros setores.

A probabilidade de inovar seria igual em todos setores quando a taxa de chegada assumisse o seguinte valor em cada setor¹⁴⁸:

$$\lambda(i) = q_{it+1} \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (6.19)$$

O expoente de (6.19), que pondera o nível setorial de qualidade esperado em cada setor expressa o maior ou menor poder de monopólio derivado do produto. A situação de igual probabilidade em todos os setores seria resultado da compensação entre as diferentes “taxas de chegada” e o gasto setorial. Substituindo o valor de $\lambda(i)$ em (6.18) tem-se a expressão que mostra a relação direta entre o gasto em P&D no período $t+1$ e a qualidade esperada no período seguinte:

$$N_{it+1} = q_{it+2}^{\alpha/1-\alpha} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} (\alpha^2 A)^{1/1-\alpha} - r \right) \quad (6.20)$$

A expressão (6.20) poderia ser interpretada a partir da noção de esgotamento das “trajetórias tecnológicas”, tal como formulada por Dosi (1988). A diferença se deve à reduzida importância dada à interação estratégica e ao fato de que a organização da pesquisa é feita toda ela “*in house*”, o que obviamente favorece o surgimento de fenômenos de esgotamento da trajetória tecnológica. A antecipação pelas empresas do problema da redução da probabilidade faz com que apareçam outras formas de organização da pesquisa, formas pré-competitivas, associativas e redes, que tornam o nexo entre gasto de pesquisa e avanços tecnológicos mais difíceis de avaliar do que a evolução de um indicador de qualidade.

Partindo de Barro & Sala-I-Martin (1995), define-se um índice de qualidade agregado $Q_t = \sum_{i=1}^I q_{it} \frac{\alpha}{1-\alpha}$ que evolui no tempo (em períodos discretos) em uma situação de estado estacionário em que todos os setores têm igual probabilidade de inovar. Esse ganho depende do

tamanho (impacto) da inovação. Utilizando o mesmo cálculo do valor esperado do ganho de inovação em (6.3), chega-se a uma expressão do ganho esperado pela inovação entre dois períodos, z , que por seu turno, nessa economia, é o fator de crescimento econômico:

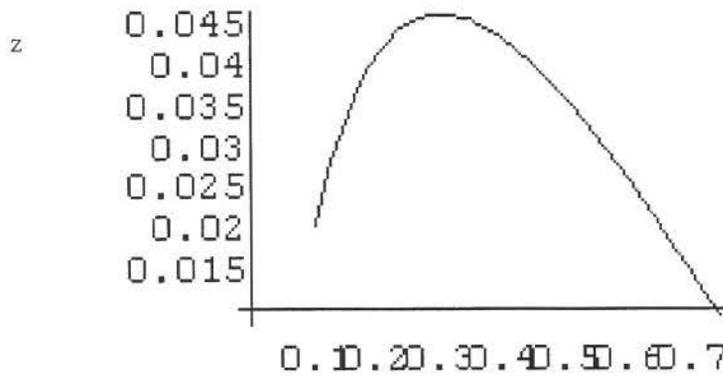
$$z = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} (\alpha^2 A)^{1/\alpha} - r \right) \ln \gamma^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} \quad (6.21)$$

O lado direito de (6.21) tem duas partes:

a) Uma parte referente à probabilidade de inovar, constante, mas afetada de forma não linear pelo grau de monopólio. Uma redução do grau de monopólio poderia até certo ponto estimular o crescimento da qualidade ou da inovação entre dois períodos, pela maior facilidade de imitação. A partir de um certo ponto, passaria a pesar um efeito de "congestão" que reduziria esse ganho. A Figura 6.3 mostra esse efeito para uma faixa razoável de $1-\alpha$, parâmetro que define o grau de apropriabilidade da economia;

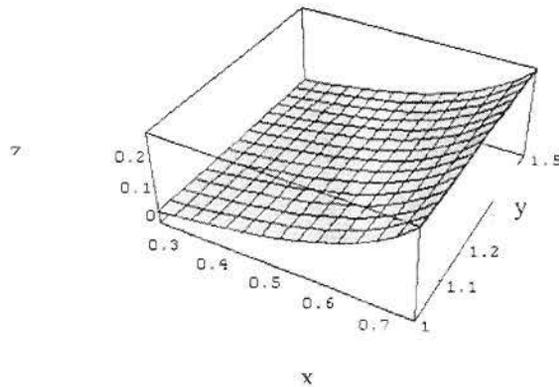
b) A parte que depende do tamanho da inovação, ponderado por $\frac{1-\alpha}{\alpha}$. A Figura 6.4 mostra que nesse caso tanto o tamanho da inovação quanto a "maior competitividade" contribuem para um maior ganho de qualidade entre dois períodos.

Figura 6.3. Probabilidade de Inovar em uma Economia no Estado Estacionário, com diferentes "taxas de chegada da inovação", segundo o "grau de monopólio"



¹⁴⁸ É só substituir (6.19) no lado direito de (6.18).

Figura 6.4. Efeito do “nível de apropriabilidade”(eixo x) e do tamanho da inovação (eixo y) sobre o logaritmo da razão de qualidade entre dois períodos (z)



A condição de estado estacionário permite a transformação da equação (6.21) na expressão da taxa de crescimento da economia, ou seja, a transformação de z em $g_q = g_c = g_y$. Para tanto, impõe-se o resultado tradicional obtido em 2.1.2, ou seja, a condição de que a taxa de crescimento da economia seja menor que a taxa de juros, no caso, $g_c = r - \rho$, sendo ρ a taxa de preferência intertemporal do consumidor. Achando o valor de r em (6.21), obtém-se a expressão da taxa de crescimento. Utilizando-se o valor de α na faixa de 0,25 a 0,75; a taxa de preferência intertemporal de 0,02; A no valor de 1,1 e o tamanho da inovação variando de 1 a 1,5, chega-se ao resultado da Figura 6.5.

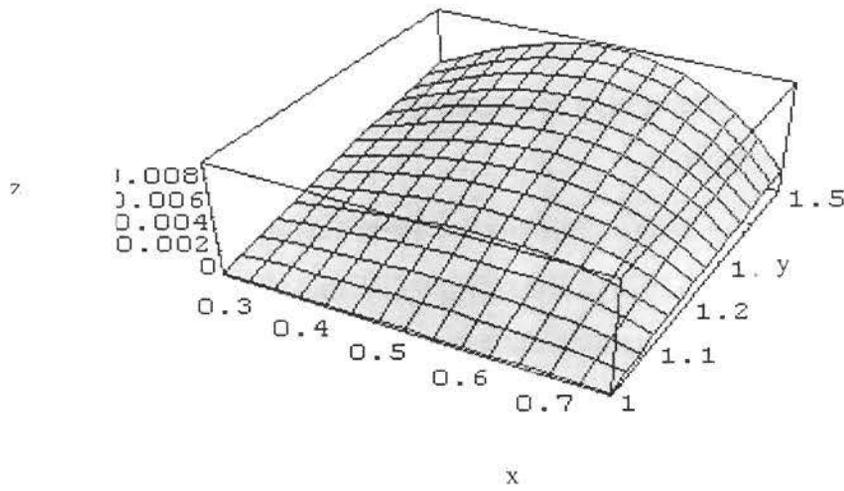
A definição dos valores de A e ρ interferem no resultado. O efeito do aumento do nível de apropriabilidade sobre a taxa de crescimento tende a ser crescente quanto maior A . Valores em torno de 1,1 aumentam a concavidade da expressão de g em relação ao nível de apropriabilidade e do tamanho da inovação.

Valores menores da taxa de juros e da preferência intertemporal conduzem a maiores taxas de crescimento; isso é um resultado comum a todos os modelos “schumpeterianos”. Todavia, na situação em que existem distintas “taxas setoriais de chegada da inovação”, segundo a formulação de Grossman & Helpman (1991), quanto menor a taxa de preferência intertemporal (e também a taxa de juros, as duas tomadas exogenamente), menos sensível é o resultado às mudanças no nível de apropriabilidade. Passando os valores de ρ de 0,01 para 0,02 observa-se um aumento da concavidade da expressão da taxa de juros, em relação a uma faixa do parâmetro α que vai de 0,25 a 0,75, sugerindo existir uma faixa ótima para o parâmetro, em níveis

intermediários de apropriabilidade. Aumento da concorrência até 0,75 levaria a uma diminuição na taxa de crescimento em função do efeito sobre a taxa de chegada de inovações, como mostra a Figura 6.3.

Na faixa em que definimos os parâmetros, quanto maior a inovação, maior a taxa de crescimento.

Figura 6.5. Taxa de crescimento de economia (eixo z) em função do grau de apropriabilidade (eixo x) e tamanho da inovação (eixo y)



O lado esquerdo da expressão (6.18) mostra que a inovação tem seu lado de destruição criadora, ao exigir que a rentabilidade do retorno esperado em P&D seja mais elevada que a taxa de juros. Esse efeito em um modelo de um só setor é mais acentuado quanto menor o grau de apropriabilidade da inovação. O exemplo que discutimos neste item mostra que a relação entre concorrência e crescimento pode assumir uma forma mais complexa quando existem efeitos importantes entre setores.

Assumindo que a “probabilidade de inovar é igual em todos os setores”, a relação entre o valor de α e a taxa de crescimento é não linear, sendo que para certos valores de parâmetros do modelo, a função que define a taxa de crescimento é côncava no argumento “grau de monopólio”. Isso sugere que existiria uma “faixa ótima”- para uma certa faixa de valores dos parâmetros, compatível com fatos estilizados da economia - em que os efeitos originados do modelo multissetorial gerariam maiores taxas de crescimento no estado estacionário.

Esse exemplo mostra que a consideração do problema multissetorial acarreta uma nova dependência da solução obtida em relação à forma com que se estrutura o comportamento dos diferentes agentes no processo inovativo, o que reforça a crítica aos microfundamentos da TII apresentados no item 4.2: neles faz falta a passagem da decisão redutora de custos segundo a indução feita pelo viés para esse conjunto de interações multissetoriais. A escolha de uma modalidade de inovação poupadora estaria sujeita, pois, a outros critérios:

a) a taxa de chegada setorial, com rendimentos decrescentes em função da qualidade ou produtividade já alcançada;

b) a importância do impacto da inovação sobre os lucros esperados, que é função direta do nível de qualidade/produtividade, algo como um *level effect* governando a decisão de gastar em certa modalidade de experimento.

O modelo com vários setores introduz um elemento importante que estava apenas intuído no modelo Evenson & Kislev (1974) e Binswanger (1978), cuja síntese foi apresentada em 4.2: a obtenção de um diferencial de produtividade ou qualidade resultante do esforço de pesquisa é função decrescente do nível já alcançado. As vantagens redutoras de custo de uma modalidade de inovação estão também sujeitas ao nível já alcançado da inovação e aos efeitos do aumento do conhecimento sobre os outros setores. Além disso, ao vincular a inovação a um ganho de monopólio, em uma situação multissetorial, a relação entre competição e crescimento da economia torna-se não-linear e depende do valores dos parâmetros da economia. A passagem entre a economia de custos do fator escasso e crescimento também seria afetada por esses mesmos efeitos.

Aceitando-se o modelo da forma simplificada¹⁴⁹ e tendo apresentado a equação de *spill over intersetorial* (6.14), resta apresentar o efeito mais importante, sobre a composição intersetorial relativo à competição por recursos fundamentais para a inovação, principalmente a disputa por capital humano. Basicamente, trata-se do efeito *crowding out*, associado à competição intersetorial originada pelos diferentes desempenhos tecnológicos dos setores ao longo do tempo.

¹⁴⁹ O que implica: a) desconsiderar a interação da inovação com o capital; b) ignorar o papel de bens intermediários na geração de inovações; c) impor condições compatíveis com o estado estacionário, ou seja, assumir que o crescimento populacional não interfere no processo inovativo.

Os setores com maiores taxas de chegada de inovação tendem a atrair mais capital humano, deixando outros "lagged behind". Isso ocorre mesmo na suposição de que a distribuição não se altera com a mudança da fronteira tecnológica, ou seja, de que um setor *lagged behind* em certo momento não sofre necessariamente, no longo prazo, com fenômenos cumulativos, do tipo *path dependence* (Ruttan & Hayami, 1995; Varspagen, 2000).

Recuperemos as formulações que determinam a equação que expressa as condições de crescimento em (6.9). Enfrentando o problema multissetorial, re-escrevemos a equação (6.5), incluindo a produtividade intersetorial. A equação de demanda por trabalho no setor intermediário é, segundo Aghion & Howitt (1998:89):

$$\tilde{x}(\omega/a) = \left(\frac{\omega/a}{\alpha^2} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \quad (6.22)$$

, que indica que, além da expressão ajustada pela produtividade geral do salário $\omega = \left(\frac{w}{A_{\max}} \right)$, considera-se o efeito da probabilidade relativa de cada setor.¹⁵⁰

Obtém-se a seguir expressão do produto agregado considerando cada setor e não pelo pressuposto de que no estado estacionário todos gastam n_t com inovação. Basta para isso integrar o produto de cada demanda apresentada em (6.22) pela função de densidade para cada a , a partir de (6.15) e somar a n_t , para obter L^{151} . Esse *trade off* - expresso em (6.8) - é comum a todos os modelos ditos "schumpeterianos". Todavia, é claro que na presente formulação L é considerado dado (mesmo no longo prazo) e os bens intermediários não são utilizados em pesquisa, só na produção, o que revela uma estrutura de divisão entre setores da economia bastante simplificada. A indexação dos setores segundo suas produtividades relativas permite escrever o produto agregado, ainda segundo Aghion e Howitt (1998), como:

$$Y_t = A^{\max} \int_0^1 a \tilde{x}(\omega_t/a)^\alpha h(a) da \quad (6.23)$$

em que $h(a)$ é $H'(a)$, ou seja, o valor da função de densidade para cada a , indicando a indexação setorial segundo as produtividades. Note que para cada setor tem-se $A^{\max} \cdot a$ como uma medida da produtividade setorial. Nessa formulação, coerente com o modelo multissetorial apresentado e

¹⁵⁰ Quanto mais atrasado o setor em relação à fronteira, maior o custo salarial.

com a hipótese da invariância da distribuição de a no longo prazo, o crescimento é expresso de forma semelhante à da equação (6.3), com a diferença que n_t não é mais médio e sim indexado no tempo.

O cálculo do valor presente da inovação V_t , no estado estacionário, leva em consideração os seguintes aspectos: a) o inovador move-se em direção à fronteira e com isso a desloca; b) existe para cada momento s a partir de t a probabilidade de que o incumbente ainda esteja produzindo (não tenha sido colocado fora do mercado); c) os salários ajustados pela produtividade crescem segundo o crescimento de uma economia no estado estacionário. A equação de arbitragem iguala o salário ajustado pela produtividade ao valor marginal da inovação, indicando o cálculo privado do inovador¹⁵². O resultado é uma expressão multissetorial de (6.9). A diferença está no fato de que todos os setores estão referenciados àquele que está na fronteira, o qual deve receber um volume de trabalho alocado acima da média, contribuindo para elevar os salários e exercer um efeito *crowding out* sobre os setores em que a inovação não ocorreu. A expressão quantitativa desse fenômeno parte de (6.23), considerando que o setor que não está defasado tem $a=1$, como vimos.

Partindo da condição de arbitragem e calculando V_t da forma mencionada acima, chega-se a:

$$V_t = \lambda \int_0^{\infty} e^{-(r+\lambda n)s} \tilde{\pi}(\omega e^{gs}) ds \quad (6.24)$$

mostrando que cada instante do tempo, após t , existe um monopolista ainda obtendo lucro da inovação, mas sujeito ao *replacement effect*, como mostra o termo relativo ao fator de desconto. O lado direito da expressão (6.24) também mostra que o lucro de cada setor (indicado pelo $\tilde{\pi}(\cdot)$) depende do crescimento geral dos salários ajustados pela produtividade, no tempo que decorre após t . O valor da inovação multiplicado pela expectativa de que ocorra no período deve igualar-se ao valor da taxa de salário no setor, que cresce continuamente nas condições impostas pela manutenção do estado estacionário.

¹⁵¹ Há portanto um *continuum* de setores ordenados a partir da distância de cada um deles em relação à fronteira.

¹⁵² Novamente, recomendamos ver a nota 124.

Colocar a equação de arbitragem no espaço (n, ω) requer a introdução da equação de evolução do uso do trabalho, L . No caso do modelo multissetorial, de acordo com o desenvolvimento em torno das expressões (6.15) e (6.23) (no que se refere ao valor de $h(a)$ a partir da expressão de $H(a)$ e a $\tilde{x}(\cdot)$ ajustado por a), o importante é considerar o efeito sobre a decisão de empregar em um setor intermediário qualquer em relação ao emprego no setor intermediário de fronteira. Consegue-se, então, "modelar" o emprego no setor intermediário segundo a contribuição da "fronteira", $\tilde{x}(\omega)$. A expressão do emprego é apresentada como

$$L - n = \int_0^1 \tilde{x}(\omega) a^{1-\alpha} \frac{a^{1/\ln \gamma - 1}}{\ln \gamma} da .$$

Resolvendo a integral definida, chega-se à expressão que mostra a cada momento a limitação imposta pelas decisões de empregar no setor de pesquisa à produção de bens intermediários. Uma parte dessa limitação deve-se ao fato de o setor de fronteira empregar acima da média, pois

$$\tilde{x}(\omega) = \left(1 + \frac{\ln \gamma}{1 - \alpha} \right) (L - n) \quad (6.25)$$

O primeiro termo entre parênteses do lado direito de (6.25) é certamente >1 (ver Figura 6.2 (b)), colocando o emprego no setor de fronteira acima do nível médio de emprego, como na expressão (6.8). Como no caso de um setor, quanto maiores os salários, maior a rentabilidade exigida no setor de pesquisa, só que agora com o efeito maior em função da distribuição desigual entre setores.

A percepção desse efeito sobre as decisões de pesquisa passa por colocar o lucro esperado no setor de fronteira em relação à decisão de produzir no setor intermediário de fronteira. Uma vez que existe uma relação de proporcionalidade entre a demanda no setor de intermediários e o salário ajustado elevado a $\left(\frac{1}{\alpha - 1}\right)$, também existe uma relação de proporcionalidade entre lucro e o mesmo salário ajustado elevado $\left(\frac{\alpha}{\alpha - 1}\right)$ ¹⁵³. Isso permite, segundo Aghion & Howitt (1998:116) rescrever (6.24) diretamente em função das decisões de produzir no setor intermediário, ou seja,

¹⁵³ Ver a expressão (6.22).

$\pi(\omega e^{gs}) = \pi(\omega) e^{\frac{\alpha}{1-\alpha}gs}$, o que supõe, como vimos, o conhecimento de uma taxa de crescimento dos salários ajustados no estado estacionário. Substituindo então o valor de $\pi(\cdot)$, chega-se a

$$1 = \lambda \int_0^1 e^{-(r+\lambda n)s} \frac{1-\alpha}{\alpha} \tilde{x}(\omega) e^{-(\alpha/(1-\alpha))\lambda n \ln \gamma \cdot s} ds$$

A resolução da integral fornece a equação que permite estabelecer a relação entre (n, ϖ) nas condições do estado estacionário.

$$r + \lambda n + \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \lambda n \ln \gamma \right) = \lambda \frac{1-\alpha}{\alpha} \tilde{x}(\varpi) \quad (6.26)$$

A expressão de arbitragem (6.26) incorpora todos os efeitos modelados ao longo do presente item, desde os impactos das inovações ao longo dos *quality ladders* até os requerimentos para a decisão de alocar capital humano na pesquisa, n . O termo entre parênteses do lado esquerdo de (6.26) corresponde ao efeito *crowding out*.(C.O.)

Este ocorre por efeitos diretos e indiretos, tanto do aumento da taxa de chegada de inovações, quanto do tamanho das inovações. Um aumento da "taxa de chegada" tem um efeito positivo o crescimento, mas também acirra a competição no mercado de trabalho, basicamente pela mão-de-obra especializada. O efeito C.O. justapõe-se ao efeito "schumpeteriano" de desincentivo à inovação, como uma forma de competição intersetorial por um recurso que se torna escasso com a inovação. Já o aumento do tamanho da inovação, como mostra (6.26), tem um efeito direto e também indireto, via efeito sobre a alocação de recursos humanos no setor intermediário na fronteira, como mostra (6.25).

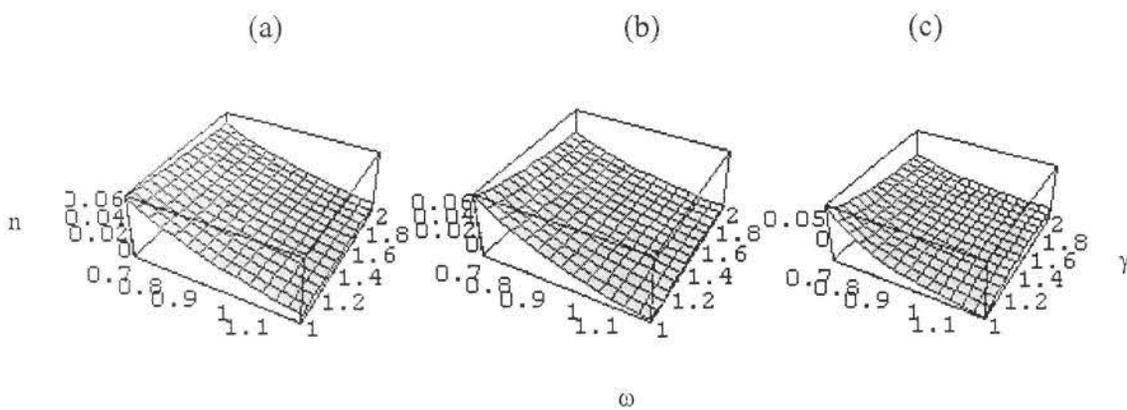
A Figura 6.6 mostra como o nível do emprego alocado em pesquisa é afetado pela taxa de salários corrigida pela produtividade e pelo tamanho das inovações. Confirmando a afirmação que o efeito do tamanho das inovações dá-se em distintas direções, percebe-se que nas três situações há uma leve redução do valor de n com o aumento de γ , bem menos acentuada que aquela causada pelo aumento de ω .

Todavia, os resultados apresentados na Figura 6.6 referem-se apenas à equação de arbitragem, não captando o efeito favorável sobre a decisão de utilização do insumo intermediário na fronteira $\tilde{x}(\omega)$ originado do tamanho da inovação e explicitado na equação

(6.25). Isso fica claro quando se analisa que para os três níveis de elasticidade da demanda do monopolista (em ordem crescente de (a) até (c)).

Observando-se (6.26) e a Figura 6.6 percebe-se que quanto menor o grau de apropriabilidade (caminhando de (a) para (c)) mais sensível é a inovação ao aumento da taxa de salário. maior o estímulo à inovação: a competição, entendida como oposto do poder monopolista exercido temporariamente pelo produtor de bem intermediário, outros fatores importantes desconsiderados, atuaria reduzindo a quantidade alocada no setor de pesquisa.¹⁵⁴

Figura 6.6. Nível de emprego em pesquisa (n) em função da taxa de salários (ω) e tamanho da inovação (γ), para três níveis de grau de monopólio (0,25;0,5 e; 0,75)



O balanço geral dos efeitos apresentados ao longo desse item, - em que foi introduzido um modelo simplificado, que não relaciona a produção de bens intermediários e decisões de investimento com inovação tecnológica - é que um aumento nos parâmetros relacionados à inovação tem um efeito favorável sobre n e, por consequência, sobre o crescimento, ainda que compensado pelo efeito de destruição criadora e pelo efeito *crowding out*, que está explicitado nas equações acima. Dado um nível n , quanto maior o tamanho da inovação, maior o incentivo para inovar em função do efeito direto no valor da inovação, mas também maior o efeito *crowding out*.

Obviamente, uma maior taxa de desconto associada aos resultados de pesquisa (aqui concebida de maneira bastante simplificada) reduz o valor de n .

¹⁵⁴ Visão de concorrência bastante criticada já no trabalho de Nelson & Winter (1982)

Bonelli & Pessôa (1998) retomam a discussão tradicional sobre o efeito do gasto de pesquisa do governo sobre a atividade privada. Esse tipo específico de efeito *crowding out* (*C.O.*) como a decisão de gasto do governo pode interferir nas decisões de gasto privado em P&D, que geralmente termina na conclusão da indesejabilidade do gasto público fora das áreas em que a apropriabilidade dos resultados de pesquisa seja baixa e que os *spill overs* sejam elevados.

Essa divisão intersetorial pode ser inserida com certos problemas em modelos multissetoriais e seria realista considerar no setor agrícola, por exemplo, a divisão entre pesquisa pública e privada. Mesmo assim, a lógica do setor privado de pesquisa estaria baseado na influência do processo competitivo de corporações do setor químico (Possas, Salles-Filho & Silveira, 1996; Aghion, Dewatripoint & Rey, 1997), o que poderia sugerir quer a complementaridade entre setores predominaria em relação ao efeito *C.O.*

Essa discussão ganha interesse quando discutirmos o modelo elaborado por de Janvry, Fafchamps e Sadoulet (1995), que estrutura a pesquisa na agricultura a partir das instituições públicas de pesquisa. Partem da idéia de que o funcionamento da TII na agricultura depende da capacidade das instituições públicas em captar os sinais de mercado, filtrados por formas institucionais como grupos de interesse e pressão ou pelo interesse político no gasto público, em um enfoque aderente ao que hoje se denomina “Nova Economia Política”.

O que chama atenção nesse modelo é que as decisões afetam principalmente as decisões de gasto relacionadas a um viés ótimo para os grupos de interesse, praticamente desconhecendo as condições em que a presença de *C.O.* interfira na decisão do gasto público e no gasto privado. De certa forma, o modelo citado não se preocupa com um efeito anterior que é o causado pelo gasto público sobre o custo de oportunidade do capital humano a ser alocado em cada uma das modalidades de pesquisa. Cabe adiantar à crítica da TII a percepção de que a forma com que se estrutura a organização da pesquisa em sua relação com as variáveis da economia é fundamental na decisão de gasto em pesquisa que antecede as decisões sobre em que modalidade de pesquisa o montante de gasto irá ser repartido. O modelo da TII pode ser interpretado como tomando os efeitos que apresentamos nesse capítulo como dados do problema e não como parte essencial do processo endógeno de decisão sobre a direção e a taxa de inovação a cada momento de uma trajetória de crescimento de uma economia.

David & Hall (1999:11 e seguintes) derivam de um modelo simples de curto prazo que expressa a relação entre a taxa de salário em P&D (w), o orçamento público em R&D, e o a repartição de trabalhadores de R&D no setor público e privado, com o objetivo de discutir as condições de emergência de *crowding out* entre os dois setores de pesquisa.

Trata-se de uma situação de pleno emprego dos fatores, como na maioria dos modelos que analisamos. Isso o torna distante de situações em que: a) existe uma fonte exógena de mão-de-obra qualificada que não é determinada por decisões de gasto em P&D, seja público, seja privado; b) a transferência tecnológica condiciona a forma de organização da pesquisa no país; c) há uma situação de transição histórica que gera tendências de re-alocação do trabalho e do capital humano de um setor para outro, típico de economias em desenvolvimento.

Apontadas suas limitações, o modelo parte de uma oferta fixa L de capital humano que será destinado para atividades de pesquisa e desenvolvimento.¹⁵⁵ Deixando de lado questões relacionadas à probabilidade de adoção de estratégias marcadas pelo comportamento oportunista do agente privado em face ao investimento público, o modelo resume um conjunto complexo de relações na elasticidade ε , que mede a sensibilidade do valor produtividade marginal do trabalho no setor privado de pesquisa em relação à parte L_p do capital humano alocada no setor privado. Para tal, define o salário em pesquisa no setor privado por $w = f(L_p)$, uma condição de equilíbrio competitivo que segue as condições tradicionais de concavidade. O gasto do governo em pesquisa (G) é determinado simplesmente por

$$G = wL_G \quad (6.27)$$

A partir das três equações, obtém a elasticidade do salário (w) em relação ao gasto do governo em pesquisa (G), por meio da linearização de (6.27) em que o primeiro termo à direita é substituído pela condição de primeira ordem e o segundo termo é expresso em termos do trabalho privado, a partir da restrição imposta por L .

¹⁵⁵ É pois, um modelo complementar aos modelos “schumpeterianos” que estamos discutindo, em que a repartição do estoque de trabalho entre atividades produtivas e pesquisa é arbitrada pelo retorno esperado em pesquisa e o custo de oportunidade de alocação de uma unidade a mais em atividades de P&D em relação ao salário nas atividades industriais (Aghion e Howitt, 1992; Caballero e Jaffé, 1993).

Com um pouco de álgebra chega-se $\frac{1}{(1-(L_p/L_g)(1/\varepsilon))}$, cuja faixa de valores fica entre 0 e 1. Dois efeitos aparecem: a) um efeito direto do maior gasto do governo sobre uma base fixa de capital humano disponível; b) um efeito indireto, que atenua o primeiro, derivado da maior produtividade do trabalho no setor de pesquisa, que torna menos necessário alocar capital humano na pesquisa privada. Quanto mais elástico for o salário de P&D do setor privado às variações de L_p , menor é a elasticidade do salário privado em relação aos gastos do governo.

Também é possível calcular a elasticidade dos gastos privados (R) a partir dos gastos do governo (G). Trata-se de um desdobramento da formulação anterior, que leva a

$$\frac{dR}{dG} \frac{G}{R} = - \frac{(1 + \varepsilon)}{\left(\frac{L_p}{L_g}\right) - \varepsilon} \quad (6.28)$$

Quando $\varepsilon < -1$ e $w > -f_L L_p$, ou seja, quando os salários no setor privado forem muito sensíveis ao aumento de capital humano alocado no setor (L_p), e quando o salário for menor que o produto da derivada primeira do produto marginal do trabalho vezes o capital humano alocado em pesquisa no setor produtivo, tem-se que os gastos em P&D nos setores público e privado são complementares, não havendo, portanto, efeito *crowding out*. (C.O.)

O aumento do gasto privado em função do maior gasto público se deve fundamentalmente ao aumento de produtividade associado do capital humano no setor privado, resultante do aumento de gasto no setor público e isso depende de uma característica intrínseca de cada segmento ou setor. O efeito C.O. aparece quando essas condições não são cumpridas. Tomando-se a expressão (6.28), percebe-se que quanto maior a participação do setor emprego em pesquisa do setor privado em relação ao gasto do governo, mais sensível é o gasto privado em relação ao gasto do governo quando as condições para a complementaridade são cumpridas.

Apesar da simplicidade do modelo¹⁵⁶, ele permite observar que os modelos econométricos que levem em conta o gasto em P&D do governo devem estar atentos ao fato de que a direção do

¹⁵⁶ Note que a expressão (6.28) é composta, à primeira vista de elementos observáveis: a) a relação entre capital humano empregado no setor privado e público pode ser obtida em diferentes níveis de agregação.; b) a elasticidade do salário em função da variação do capital humano no setor de P&D privado. Esse último já não pode ser estimado sem a correta delimitação de segmentos/setores e da criação de um índice de salário no setor de pesquisa privado que melhor represente o comportamento dos diferentes grupos de salários no setor de pesquisa das indústrias. Além

efeito muda radicalmente em função da proporção entre o capital humano alocado no setor privado e no setor público, ou seja, o estado a partir do qual o efeito está sendo avaliado (David & Hall, 1999:13).

Disto resulta que as estimativas obtidas a partir de modelos de indução institucional (de Janvry, Fafchamps e Sadoulet, 1995) são afetadas pelo estado de organização da pesquisa prevalecente. A idéia de que as instituições são instrumentos de “tradução” dos sinais dos preços relativos e que o conflito de interesses leva à identificação de um “nível ótimo de vies” está condicionada ao tipo de efeito predominante quando se decide gastar em P&D. Trata-se de um efeito que qualifica a observação feita por Binswanger (1974a) de que inovar tem custo e reforça o que apontamos em 4.2 sobre a importância da estruturação da pesquisa nos resultados obtidos, seja quanto à inovação, seja quanto a seu impacto no crescimento.

O presente capítulo forneceu um conjunto de elementos que permitiram avançar os seguintes pontos no entendimento da teoria de crescimento endógeno e para sua contribuição à crítica da Teoria da Inovação Induzida:

a) A decisão do gasto em inovação passa pela antevisão de um conjunto de efeitos do processo inovativo sobre o tipo de agente que está tomando a decisão;

b) Todavia, a capacidade de antecipar esses efeitos, seja pelo conhecimento da estrutura de mercado, do padrão de concorrência e dos requerimentos do processo de inovação, não implica evitar sua ocorrência ou promover efeitos desejáveis. Implica apenas tomar decisões com base na presença desses elementos derivados da própria natureza do processo de inovação, ou seja, ela gera *spill overs*, destroi capital, afeta a alocação do capital humano entre produção e pesquisa e leva a deslocamento de setores *lagged behind*;

c) Além disso, a interação desses efeitos leva a decisões subótimas de gasto em pesquisa e ao mesmo tempo a duplicação desse gasto.

Em resumo, o processo de inovação, ainda que possa ser estilizado como compatível com trajetórias estacionárias de crescimento e mesmo *Harrod-neutras* (como mostra Metcalfe, 1997), não é gerador dessa mesma estabilidade ou de algum tipo de trajetória neutra. Nesse sentido, a

disso, é preciso ter atenção para os pressupostos subjacentes à expressão mencionada, uma vez que parte do estoque fixo de trabalho e de condições de equilíbrio fundadas em uma determinada “divisão de trabalho” entre pesquisa

existência de um processo de decisão de gasto em inovação que cumpra um papel sinalizado por trajetórias macroeconômicas não é um pressuposto da teoria “schumpeteriana” de que tratamos até aqui e muito menos o processo de inovação é derivado apenas de condicionantes macroeconômicos sobre os componentes de custo dos beneficiários da pesquisa.

O próximo capítulo busca incorporar (e qualificar) a crítica feita originalmente por Mundlak (1979) à Teoria da Inovação Induzida, de que o processo de acumulação de capital está intrinsecamente ligado às decisões de gasto com inovações e mais ainda, sensível a medidas de política de incentivo à pesquisa.

7 Um modelo de crescimento endógeno com inovação e acumulação de capital

Equation Section: 7

O modelo a seguir procura mostrar que inovação e acumulação de capital não devem ser tratados separadamente. É baseado nos trabalhos de Howitt (1997) e Howitt (1999) e utiliza elementos da formulação apresentada no capítulo 6.

A "estrutura da economia" pode ser descrita basicamente como:

a) Um setor produtor de bens intermediários, em que capital é o fator de produção. Os empresários desse setor têm direitos de monopólio sobre os ganhos de inovação, sendo esse o incentivo básico para inovar- não o de economizar fatores escassos;¹⁵⁷

b) O setor de bens finais adquire os bens intermediários e é competitivo, uma restrição bastante forte, mas que não alteraria substancialmente as conclusões que vamos apresentar e o contraponto que faremos com a discussão de monopólio do final do item 4.2;

c) A decisão de alocar trabalho qualificado em pesquisa, n , depende do valor esperado da inovação e das variáveis que afetam a intensidade de capital por setor. O crescimento populacional participa estimulando a criação de novos setores intermediários, podendo acarretar os efeitos escala e diluição, que tratamos no capítulo 6.

O processo de inovação é incremental e sem *path dependence*. Cada inovador bem sucedido nos diferentes setores substitui o incumbente, que, como vimos, em função do *replacement effect* não mais retorna ao mercado. Ao fazê-lo, localiza-se na fronteira, que se desloca e arrasta os outros setores, devido ao efeito de *spill over*. A possibilidade de imitação dá-se nas "cercanias" dos produtos já existentes (à la Chamberlin) e seu impacto no processo de crescimento é muito pequeno. O número de setores, Q , aumenta continuamente, mas o impacto do efeito escala é compensado pela diluição do esforço de pesquisa em mais setores.

Ao contrário do modelo apresentado em 5.2, a atividade de pesquisa é considerada altamente intensiva em capital, uma simplificação que não deixa de ser verdadeira, se não separar-se capital humano de capital físico. Essa última característica torna esse modelo bastante

¹⁵⁷ Economizar fatores escassos pode aumentar a rentabilidade de um setor. Todavia, existem outras motivações para inovar compatíveis com esse modelo.

distinto do modelo horizontal ou o modelo apresentado em 6.2, em que a atividade de pesquisa está diretamente relacionada ao fator trabalho e ao salário ajustado pela produtividade.¹⁵⁸

Todavia, não é só a pesquisa que é intensiva em capital, mas o próprio resultado do processo inovativo, via setor de bens intermediários. Isso caracteriza o modelo verticalizado com capital. Como mostram Aghion e Howitt (1998), a endogeneização da inovação está associada ao processo de intensificação de capital; portanto, uma política de subsidiar capital não necessariamente teria um efeito redistributivo, mas também seria capaz de promover o crescimento sustentável.

Obviamente, a promoção do crescimento não ocorreria sem viés, caso a função agregada não fosse Cobb-Douglas. Paralelamente, no caso do modelo horizontalizado, o aumento de setores Q , da economia e por conseguinte da relação $l_i = \frac{L_i}{Q_i}$ que dá o número de pessoas por setor, criaria, na presença de elasticidades de substituição menores que 1 (caso já discutido em 3.3), viés na direção da maior intensidade do trabalho.

Em resumo, o modelo que apresentaremos a seguir relaciona o processo de inovação à intensificação de capital. Sem todavia, ser do tipo AK , o modelo apresenta retornos constantes à escala (o crescimento se sustenta indefinidamente) e pode ser entendido como um modelo de dois setores: o nível de produto depende do estoque de capital e do estoque de conhecimento. O desafio para que ele não se torne uma mera construção circular passa por justificar adequadamente a forma com que essa interpenetração ocorre, para além das formulações do tipo $S-S$ que dão base para o cálculo do resíduo tecnológico ou de sua medida aproximada – o que a engloba – a Produtividade Total dos Fatores (PTF).¹⁵⁹

7.1 Um modelo geral de crescimento endógeno

Iniciemos por um modelo generalizado, sem especificar uma função de produção e pressupondo que o setor produtor de bens intermediários utiliza capital físico e humano, ao

¹⁵⁸ Dados da National Science Foundation permitem estimar a participação do capital nas atividades de P&D em torno de 14%. Ver Howitt & Aghion (1998:121)

¹⁵⁹ Harberger (1998) aponta o porquê da diferença entre o conceito de resíduo tecnológico e a medida da PTF. Seu argumento é próximo ao que desenvolvemos no capítulo 3, de que há um efeito de retroalimentação entre inovação e intensificação de capital, inclusive capital humano, que diferencia PTF de um mero resíduo. Além disso, beneficia-se de externalidades de distintas naturezas.

contrário do modelo de Howitt (1999) e Segerstrom (2000). Seguimos pois Aghion e Howitt (1998) e mais especificamente Aghion e Howitt (1996).

A função de produção é dada por:

$$Y = \int_0^1 A_i F(x_i) di \quad (7.1)$$

Y é o produto bruto e x_i o i -ésimo bem intermediário, mantendo-se a concepção de um *continuum* de bens, como em (6.1).

A função, como em Howitt (1999), mencionado em tom crítico por Segerstrom (2000), apresenta um retorno marginal positivo, mas decrescente (que impõe uma condição de convexidade a partir da existência de um j -ésimo intermediário que se combina com o i -ésimo bem intermediário dado um certo nível de produto)¹⁶⁰.

Toda explicação dada para a evolução da fronteira tecnológica em 6.2 aplica-se ao fator A_i da função de produção. A produção pode destinar-se ao consumo ou a sua utilização como bem de capital. A função de produção de bens intermediários é dada por:

$$x_i = Z(k^r, N_i) \quad (7.2)$$

em que $k^r \equiv K^p / A$, o que indica, segundo Aghion e Howitt (1996:15) que “tecnologias mais complexas exigem maior uso de capital, ou seja, que safras sucessivas de bens intermediários são produzidas com *técnicas cada vez mais intensivas em capital*” (o que não significa necessariamente um aumento da participação do capital em valor, que como vimos no capítulo 3 caracteriza o viés).¹⁶¹

¹⁶⁰ Howitt (1999) em um modelo em que só trabalho participa da produção de bens intermediários (o segmento que se apropria dos ganhos de monopólio das inovações, como vimos), faz um modelo vertical em que a contribuição dos gastos com P&D para o crescimento é positiva, mesmo com rendimentos decrescentes na função de produção do setor de bens finais. Todavia, como mostra Segerstrom (2000:279), o resultado dessa construção é que para uma ampla faixa, mesmo com uma taxa positiva de gastos em R&D no estado estacionário, o crescimento da produção é negativo, o que mais uma vez mostra a diferença entre os efeitos de nível e mudança, que comentamos em 0

¹⁶¹ Para uma exemplificação desse efeito no caso do desenvolvimento da biotecnologia, ver Fonseca & Silveira (2001). A complexidade da tecnologia é todavia tratada a partir do conceito de “blocos em construção” e não pela separação em fatores e nem mesmo pela separação nítida das etapas de pesquisa, desenvolvimento e produção. No caso da indústria farmacêutica – a despeito das etapas bem demarcadas que caracterizam o longo processo de obtenção de produtos novos – as etapas de inovação articulam cada vez mais os processos de identificação de alvos celulares à bio-informática e ao uso de *screening combinatório*, tornando obsoletas as vantagens do conhecimento tácito-específico originadas das técnicas experimentais de obtenção de novos produtos e moléculas. Essas novas

O processo de inovação corresponde ao que foi descrito no capítulo anterior. A função u tem retornos constantes à escala, A reflete o processo de “arrastamento da fronteira” que descrevemos em 6.2, ou seja:

$$\lambda u(k^r, H) \text{ com } u_k(k^r, H) > 0 \text{ e } u_{kk}(k^r, H) < 0. \quad (7.3)$$

A função $u(K^r/A, H)$ apresenta retornos constantes à escala. São mantidas as propriedades usuais de concavidade que refletem o fato de que o capital humano tem oferta inelástica para as atividades de P&D.

A formulação introduz o capital humano H como variável determinante da “taxa de chegada de inovação” e não do processo de produção de bens intermediários, não havendo a caracterização do *trade off* entre o uso do capital humano na produção e na pesquisa, como caracterizado por David, Hall & O’Toole (1999) e tampouco o capital humano explicaria o nível do produto, apenas contribuiria positivamente, como veremos, para sua taxa de crescimento.

Essa formulação, portanto, não se presta à discussão da mobilidade do capital humano entre atividades de pesquisa e produção e à avaliação do *trade off* entre *LBD* e investimento em pesquisa. (ver 6.2).

A descrição desses elementos básicos da estrutura produtiva e de inovação faz emergir um ponto crucial de afastamento em relação ao modelo microeconômico da TII apresentado em 4.2. Sigamos algumas etapas do raciocínio:

- a) O progresso técnico é transmitido para o setor de bens intermediários pelos mecanismos apresentados em 6.2. Esse “arrasto” operado pela fronteira *a priori* não tem “compromisso” com a idéia de estado estacionário. Essa é apenas uma situação teórica, de referência para a análise do efeito da inovação como fator de crescimento, cujo gasto é determinado endogenamente;
- b) Todavia, em funções com elasticidade de substituição diferente de 1 para algumas variáveis de interesse, o processo tal como é descrito levaria ao aparecimento

técnicas, segundo Fonseca & Silveira (2001) engendram crescentemente cooperação e o desenvolvimento de conhecimento interdisciplinar. A noção de *spill over* apresentada em 5.2 ganha substância desde que se tenha claro que a captação desse conhecimento exige a construção dos blocos de conhecimento, ela não pode ser captada por

persistente de viés.¹⁶² Nessas formulações as atividades de P&D são realizadas por um bem composto por capital humano e capital físico em proporções fixas (ou na mesma proporção, uma restrição mais forte);

- c) Impõe-se assim um pressuposto de que não existe um *trade off* entre intensificar capital e estar na fronteira tecnológica. A dinâmica tecnológica impediria a ocorrência da situação de intensificação de capital por uma firma para compensar sua defasagem tecnológica em relação à fronteira tecnológica.

Essa formulação, em resumo, não está limitada pela formulação de uma função Cobb-Douglas, mas restringe a emergência de fenômenos ligados à indução tecnológica e isso está ligado intrinsecamente à noção de contribuição de longo prazo da inovação tecnológica. Repetindo o que foi apresentado em 6.1 e em 6.2, o desenvolvimento tecnológico é específico setorial, mas o elemento que determina o processo “schumpeteriano” de crescimento é a possibilidade de qualquer outro setor ou firma se apropriar do conhecimento gerado para chegar à fronteira e deslocar o incumbente (ou até conviver um período com ele).

Ao invés de priorizar a “modalidade de inovação” como em 4.2, o processo “schumpeteriano” ordena as inovações em *best practices* em cada setor cuja descoberta capacita outros setores a realizar descobertas e novos deslocamentos de mercado. Dessa forma, a intencionalidade (que caracteriza a endogeneidade da inovação) que se revela na escolha da modalidade poupadora de recursos escassos é substituída por uma microeconomia conveniente ao modelo macroeconômico de crescimento: as oportunidades tecnológicas emergem de uma lista de inovações que só é conhecida no processo de deslocamento da fronteira tecnológica (o que elimina a idéia de fronteira de possibilidades de inovação como uma meta-função ou trajetória tecnológica a ser percorrida), mas que tem a propriedade de gerar *spill overs*. Assim, $g_A = \lambda u(k^r, H)$, que é a mesma equação (5.4) formulada em termos mais gerais, mas com os pressupostos que discutimos acima.

acaso, na visão estilizada que apresentamos que relaciona firma e inovação. Voltaremos a esse ponto nas observações finais do trabalho.

¹⁶² No item anterior consideramos a possibilidade de que decisões de inovar levem ao aparecimento de fenômenos de C.O. setoriais e mesmo a existência da possibilidade que decisões privadas de gasto em P&D possam determinar uma alocação menor que a que seria socialmente desejável em setores produtivos, na presença de processos de aprendizado, o que não pode ocorrer a partir desse modelo.

Antes de apresentar a “solução” do modelo para o estado estacionário, cabe apresentar algumas de suas limitações. Pequenos detalhes, que são fundamentais quando se deseja mensurar o impacto das inovações (ver Geopi, 2000, por exemplo) não são considerados. Mencionamos alguns deles, como: a) a discussão sobre depreciação de capital; b) a importância da mobilidade do trabalho; c) o rompimento voluntário de contratos de trabalho; d) o ganho implícito de capital atribuído à firma que mantém um “time” relativamente estável de trabalhadores – uma situação em que os custos de contratação sejam crescentes. Certamente, modelos mais avançados levarão em conta alguns fatos estilizados relativos ao tipo específico de capital humano utilizado em atividades de P&D (Ruiz, 2000, para uma discussão sobre redes de inovação e as características das “comunidade científica”).

Também não fazem parte do modelo os efeitos de variáveis que são incluídas em modelos de inovação: a) o fluxo de patentes que acompanha as inovações; b) o fluxo de novas empresas e novos produtos.

Essas limitações alteram os resultados obtidos, principalmente porque não se pode assumir que, para diferentes países e regiões e mesmo entre firmas, tenham um comportamento homogêneo em relação a essas variáveis e também em relação ao regime institucional que envolve o mercado de trabalho.

A crítica central já foi colocada e é válida tanto para os modelos “macro” da TII quanto para os modelos como o que estamos tratando: as inovações têm efeitos diferenciados sobre a obsolescência do capital e principalmente, o efeito de destruição criadora (que a TII desconsidera) é protegido pelas empresas que são o *loci* privilegiado em que a informação e conhecimento são acumulados. Assumir que a cada ciclo de inovação empresas são substituídas é cômodo para a solução do modelo - ainda que seja possível formular modelos em que a empresa estabelecida é apenas parcialmente deslocada, como em Howitt & Aghion (1998:125) - pois atenua a contribuição da inovação para o crescimento.

Aceitas as críticas e limitações, passemos à busca de solução do modelo, cujo “pulo do gato” é supor as condições de estado estacionário e com isso apresentar um sistema de equações que apresentem de forma geral e sintética a relação entre k^l e o crescimento da economia. *O modelo permite supor que o payoff esperado no longo prazo seja igual para todas empresas*

inovadoras, de forma que tanto k^r pode ser agregado linearmente, quanto o gasto em P&D, portanto, a figura do agente representativo está presente neste modelo.¹⁶³

Descartada a importância desses fenômenos transitórios, podemos construir um modelo geral em que capital e inovação estão relacionados predominantemente de forma positiva e que também pressupõe a complementaridade entre capital físico e humano, que deriva do fato de que a formação de capital humano é cada vez mais capital físico intensiva, um elemento fundamental para explicar a maior produtividade do capital nos países desenvolvidos em relação a países com baixa relação capital produto e que teoricamente deveriam ter maior produtividade do capital.

Consideramos o estado estacionário, $g_Y = g_A$, que pressupõe que a distribuição dos setores a uma certa distância da fronteira é invariante no tempo.¹⁶⁴ No estado estacionário, o capital, o produto bruto, consumo e o salário real variam na mesma taxa, assim como o movimento da fronteira, dado pela taxa de variação de A e com isso é possível obter *uma equação de arbitragem que iguala o custo de oportunidade do capital investido em pesquisa pela firma com o retorno marginal obtido em pesquisa*. Isso inclui uma taxa de depreciação do capital físico δ_k e, em alguns casos, a depreciação tecnológica, derivada da forma com que a substituição do incumbente é feita pelo inovador no setor em que a inovação é adotada naquele período (de inovação).

Em linhas gerais, a equação de arbitragem seria, segundo Aghion & Howitt (1996:16) igual a:

$$r + \delta_k = \lambda u_1(k^r, H) V_t / A_t \quad (7.4)$$

que é uma apresentação geral, por exemplo, da equação de arbitragem (6.9), que se refere ao caso particular em que o bem intermediário é produzido apenas com trabalho e se destina a um setor produtor de bens finais cuja função de produção é Cobb-Douglas.

¹⁶³ Fica evidente que a TII seria justamente aplicável a situações transitórias e talvez por isso tenha sido associada à idéia de teoria de desenvolvimento econômico, o que como mostram de Janvry, Fafchamps & Sadoulet (1995), passa pela interferência clara de “grupos de interesse”, do estado e outros determinantes institucionais do “viés ótimo a ser induzido” a partir de uma situação dada (*change and level effect* devendo ser incluídos).

¹⁶⁴ Ver o desenvolvimento feito em 6.2. Essa “prova” está sujeita à aceitação da idéia de que o surgimento de inovações segue o tipo de modelo probabilístico proposto. Ver Nelson & Winter (1982) para uma linha alternativa que abriu espaço para o desenvolvimento de uma ampla família de modelos neo-schumpeterianos que não se baseiam na idéia de invariante.

O lado esquerdo da equação (7.4) apresenta o retorno mínimo exigido para alocar uma unidade adicional de capital e trabalho em pesquisa. No lado direito V_t/A_t fornece o valor esperado da inovação na data t (que aqui é o tempo e não o indexador do surgimento de inovações) deflacionado pelo valor do parâmetro de produtividade da fronteira (*leading edge*). Como foi visto, a cada deslocamento da fronteira maior o valor exigido da inovação tecnológica para que ela continue avançando.

O termo $\lambda u_1(k', H)$ multiplicado por V_t fornece o valor do retorno marginal do gasto com inovação, assumindo-se que a oferta de trabalho qualificado é inelástica para atividade de P&D, o que remete à discussão que fizemos no item anterior, sobre a mobilidade do capital humano.¹⁶⁵

Trata-se então de explicitar a relação entre rendimentos da inovação e ganhos de monopólio obtido pelo inovador, produtor de bens intermediários. A estrutura da economia relacionada à obtenção de ganhos de monopólio é praticamente a mesma apresentada em 6.2. O lucro de monopólio vem do processo competitivo descrito em 6.1, o que permite que o intermediário venda o produto usando a regra de igualar preço a produto marginal. Nesse modelo, como já criticamos, o monopolista é substituído cada vez que uma inovação incide sobre seu segmento (que é um caso radical de *putty-clay capital*).¹⁶⁶

A receita e o custo originado do esforço de inovação estão relacionados à probabilidade de duração de um incumbente como monopolista. Tanto o custo quanto o lucro, portanto, dependem dos ganhos acumulados no período que vai de t até a data s , em que o monopolista é substituído. Assim, o custo do capital empregado na pesquisa depende do custo de oportunidade do capital, mais uma provisão para depreciação e uma margem correspondente à “destruição

¹⁶⁵ Cabe lembrar mais uma vez que se trata de uma versão estilizada em que o capital e o efeito da inovação tecnológica estão articulados. A mobilidade intersetorial do capital humano, por exemplo, é um dos elementos mais importantes na decisão do quanto investir em pesquisa dada a possibilidade de aprendizado (*LBD*) no setor produtivo. Assumir que a oferta de H é inelástica impõe as características de concavidade

¹⁶⁶ Apesar de se opor radicalmente à hipótese de plena mobilidade do capital, ou seja, à idéia que o capital deslocado pela inovação poderia ser deslocado para outra atividade, a suposição de capital *putty-clay* também é extremamente simplificadora. A idéia de que uma das funções da firma é manter e organizar informações como resposta às questões colocadas por Coase não estaria sendo respeitada por esse modelo e também não o seria em uma versão em que o incumbente seria apenas parcialmente deslocado, saindo da posição de inovador para a de seguidor. A hipótese “Penrosiana” favoreceria a acumulação de conhecimento da firma, o que, de certa forma direciona as escolhas de P&D. Com isso, se reforça a idéia de inovação local e da existência de fenômenos de *path dependence*, às custas dessa versão simplificadora de criação destruidora. (ver Possas *et alii* (2000) para um modelo evolucionário setorial que incorpora esses elementos).

criadora, ou seja, $\lambda u(k^r, H)$ dá a probabilidade de ocorrência de substituição do monopólio influenciada pela decisão endógena de investir em inovação.

Partindo de (7.2), que expressa a função de produção do bem intermediário com rendimentos constantes à escala, essa situação resulta em uma função custo do capital e da contratação da mão-de-obra (que envolve, como mencionamos, outros elementos, como o custo de contratação e de quebra de contrato) que é monotônica crescente nos dois argumentos. A expressão relativa ao uso de trabalho não qualificado é também função do custo do capital e do custo de contratação de mão-de-obra. Assim também a função lucro em um dado momento s , a partir de uma data t . Essas duas últimas são monotônicas decrescentes nos dois argumentos.¹⁶⁷

A equação que expressa o valor presente esperado da inovação só difere da expressão (6.24) em função de (7.2), ou seja, por incluir o capital deflacionado pelo índice de produtividade da fronteira tecnológica, A_t . A expressão resultante é apresentada a seguir:

$$V_t = \int_0^{\infty} e^{-((r+\lambda u(k^r, H))\tau)} A_t \tilde{\pi}(\tilde{r}, \tilde{\omega} e^{g\tau}) d\tau \quad (7.5)$$

Cabe explicar alguns pontos específicos de (7.5), além do que foi feito no item 6.2: a) o fator de desconto inclui o efeito da destruição criadora, que também depende das decisões de aplicar capital em atividades de P&D; b) o valor esperado está em função do lucro associado ao custo do capital $\tilde{r} = r + \delta_k + \lambda u(k^r, H)$ que incorpora o custo da expectativa de o agente ser substituído; c) inclui também a idéia de que o salário é barganhado em relação à fronteira tecnológica, incluindo custos de contratação, custos advindos da rotatividade do trabalho, pela obsolescência tecnológica e inclui também a já mencionada compensação pelo fato de que, à medida que o salário cresce a uma taxa g no estado estacionário, isso valoriza o estoque de trabalhadores das firmas. (ver Aghion & Howitt, 1996 e Howitt, 1997).

A integral definida apresentada em (7.5) e a concepção do progresso técnico definida acima (que envolve as limitações apresentadas em 6.2) permitem apresentar a equação de arbitragem em termos dos parâmetros que afetam o valor da inovação e das condições impostas

¹⁶⁷ Vale a pena chamar a atenção novamente para o fato de que o capital humano estar alocado especificamente no setor produtor de pesquisa e não diretamente na produção de bens intermediários.

para a existência do estado estacionário e com isso definir como sua variação afeta o nível de gasto em P&D.

A solução apresentada, como já discutimos em 5.2, opta por impor ao custo de oportunidade de capital as condições derivadas do objetivo de maximizar a utilidade de um consumidor segundo as condições definidas em modelos convencionais. Nesse caso, no estado estacionário, $r = \rho + \sigma g$, ou seja, a taxa de juros tem que ser igual à taxa de preferência intertemporal mais o produto da elasticidade da utilidade marginal de uma função de preferência intertemporal de um agente representativo pela taxa g de crescimento nas condições do estado estacionário. Quanto maior a elasticidade da utilidade marginal do consumo, maior a taxa de juros exigida para manter o estado estacionário, dada a taxa de preferência intertemporal e a taxa de crescimento do estado estacionário.¹⁶⁸

A nova equação de arbitragem, já apresentada em (7.4), poderia então ser expressa em função dos parâmetros que interferem no valor presente da inovação V_t . Além do valor do parâmetro de produtividade relativo à fronteira a cada momento t , A_t , que está sendo afetado pela dinâmica de inovação, deve-se considerar o custo do capital, a taxa de salário deflacionada pelo parâmetro de produtividade, a taxa de crescimento da economia no estado estacionário (essa, endógena em relação aos gastos em P&D) e o fator de desconto do valor da inovação em regime de capitalização contínua, que leva em conta a taxa de juros e também o parâmetro relativo à destruição criadora, $\lambda u(k^r, H)$

Assim, na condição de estado estacionário, tomando em consideração o que foi apresentado acima, tem-se:

$$\rho + \sigma g + \delta_k = \lambda u_k(k^r, H) v(r + \lambda u(k^r, H), \tilde{r}, \tilde{\omega}, g) \quad (7.6)$$

em que $v(\cdot) * A_t$ corresponde aproximadamente a V_t . A um valor presente descontado da inovação (valor esperado, como vimos) corresponde uma função colocada na forma implícita em função

¹⁶⁸ Segundo essa condição, para dar um exemplo, uma taxa nominal de juros em um regime de capitalização contínua de 10% corresponderia por exemplo a taxa de preferência intertemporal de 5% e uma taxa de crescimento de 5%, considerando σ igual a 0.5.

dos parâmetros que afetam os resultados da inovação no tempo total de duração do impacto da inovação multiplicada pelo parâmetro de produtividade na fronteira no momento t .¹⁶⁹

O sistema se completa com a equação de crescimento no estado estacionário:

$$g = \lambda u(k^r, H) \quad (7.7)$$

Forma-se assim um sistema de equações em que a decisão de alocar capital na atividade de P&D de um lado aumenta a taxa de crescimento, de outro afeta o valor da inovação direta e indiretamente, tendo pois, como saldo, um efeito bastante similar ao que foi apresentado em 2.2.2. .

O determinante Jacobiano desse sistema é facilmente obtido a partir da substituição de (7.7) em (7.6):

$$\lambda u(k^r, H)\sigma = \lambda u_k(k^r, H)v^*(.) - \delta_k - \rho \quad (7.8)$$

Derivando (7.8) em termos de k^r chega-se às condições de existência do equilíbrio do sistema: $J = \lambda [u_{kk}v^*(.) + u_k(v_g \lambda u_k - \sigma)] < 0$, o que dentro da faixa dos parâmetros considerada relevante é uma condição obtida com facilidade.

Assim se espera, segundo (7.6), que uma maior taxa de crescimento corresponda a uma menor intensidade de gasto em P&D e que segundo (7.7) ocorra o inverso. A razão básica da primeira formulação está associada aos rendimentos decrescentes da intensificação da capital na pesquisa. Uma maior taxa de crescimento corresponde a uma taxa de juros mais alta no estado estacionário. Observando o lado direito da expressão (7.6) percebe-se que isso interfere no valor de v , que está associado ao valor presente da inovação V_t .

Recolhendo as informações dadas acima, podemos redefinir $v(.)$ em função das condições do estado estacionário:

$$v = v(\rho + (\sigma + 1)g, \rho + \delta_k + (\sigma + 1)g, \omega + (\rho + \sigma g + \delta)\Gamma, g) \quad (7.9)$$

em que o efeito de uma maior taxa de crescimento aparece: a) no primeiro termo de v afetando a

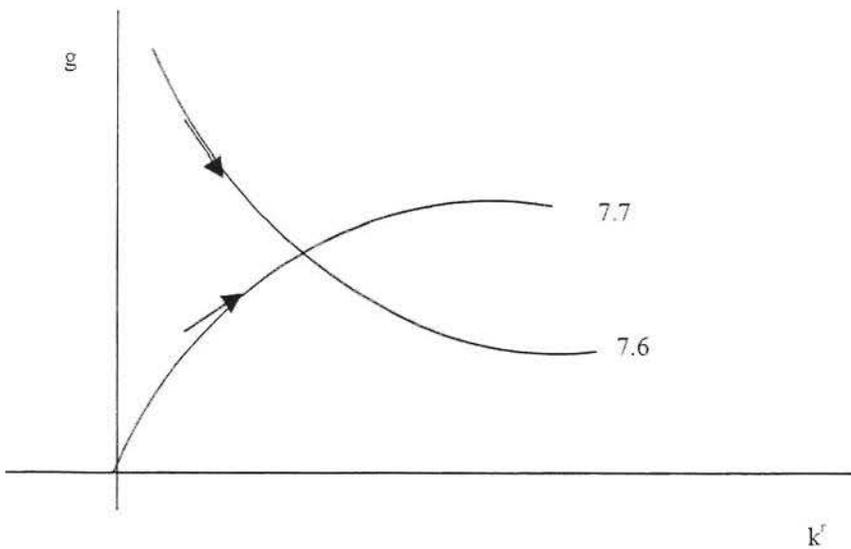
¹⁶⁹ A notação u_k indica a 1a. derivada parcial em função do primeiro argumento, k . Assim u_{kk} indica a derivada de 2a. ordem em relação a esse mesmo argumento.

taxa de juros, ou seja, o fator de desconto explicitado em (7.5); b) o custo do capital, principalmente no que se refere ao efeito de “destruição criadora”; c) nos custos da mão-de-obra, principalmente no tocante ao valor do custo de contratação (representado por Γ capitalizado por r).

Em relação à expressão (7.7) é claro que sendo $u_k(\cdot) > 0$ e $u_{kk}(\cdot) < 0$, quanto maior a intensidade de capital (ou maior o esforço em P&D) maior o valor de g .

Conseguiu-se dessa forma “controlar” o efeito indutor de crescimento da inovação por meio dos efeitos da intensificação de capital, da própria inovação (destruição criadora) e por meio da intensificação de capital. Observa-se também que apesar de o modelo verticalizado estar ligado intrinsecamente à intensificação de capital a cada safra, não necessariamente há uma ligação entre inovação e escala produtiva: a competição se dá devido à inovação.

Figura 7.1 Crescimento e Intensidade de Capital em uma situação de Estado Estacionário



Fonte: *apud* Aghion & Howitt (1996:18)

A Figura 7.1 mostra de forma bem simples o resultado das condições impostas pelas equações de arbitragem (7.6) e (7.7). Para inovar e crescer é necessário alocar capital em atividades de P&D. Um valor k' à esquerda do ponto de equilíbrio levaria a um nível de crescimento baixo, mas com um elevado ganho marginal. Por outro lado, esse valor determinaria condições de arbitragem que sugeririam um maior gasto em P&D. Como se pode perceber, a taxa

de juros nesse caso é endógena e deve baixar assim que a taxa de crescimento requerida pelas condições de arbitragem também seja reduzida pelo maior gasto em capital.

Como um adendo ao apresentado, a idéia de destruição criadora está presente na correlação positiva entre a taxa de rompimento de contratos de emprego e a taxa de crescimento. Ao invés de representar o custo do rompimento de contratos, ela se torna um indicador de que novas empresas estariam sendo criadas em função da tecnologia.

Outra relação de interesse refere-se ao impacto da produtividade da inovação λ sobre o gasto com capital (ou nível de intensidade do capital corrigido pelo parâmetro de produtividade nas atividades de P&D), ou seja, $\frac{\partial k^f}{\partial \lambda}$. Ela é uma relação semelhante àquela que tratamos em 4.2. É claro que o efeito da produtividade da inovação, da maior probabilidade de sua ocorrência, é positivo e aumenta quanto maior for a produtividade marginal do gasto de k^f , dado um certo nível H de capital humano alocado em pesquisa. Também será maior quanto maior for o valor da inovação, ajustado pela produtividade na fronteira tecnológica, v^* .

Até aí nada de novo. A interpretação com base na Figura 7.1 relaciona uma maior intensificação de capital nas atividades de P&D com a elasticidade do valor da inovação em relação à taxa de crescimento da economia no estado estacionário. Tomando-se (7.6) e (7.9), percebe-se que é possível expressar o valor esperado da inovação em função da taxa de crescimento no estado estacionário, a partir da expressão (7.10):

$$V(g) \cong \frac{v[\rho + (\sigma + 1)g, \rho + \delta_k + (\sigma + 1)g, \omega + (\rho + \sigma g + \delta)\Gamma, g]}{\rho + \delta_k + \sigma g} \quad (7.10)$$

Linearizando o sistema de equações representado pela equação de arbitragem e pela equação de crescimento (ver Aghion & Howitt, 1996:24), obtém-se uma expressão que mostra que uma taxa de crescimento elevada, dependendo da sensibilidade da função de valor esperado em relação ao crescimento, $V'(g) \frac{g}{V(g)}$, reduz mais ou menos o impacto da produtividade da inovação sobre o capital aplicado em R&D.

Já vimos que o efeito da taxa de crescimento em um sistema no estado estacionário relaciona-se de forma diferenciada sobre as “variáveis”, o que pode ser percebido em (7.10), uma vez que g , sendo positivo no longo prazo, multiplica argumentos que reduzem o valor presente

esperado dos investimentos. O efeito direto de g é positivo e isso afeta o sinal da elasticidade apresentada acima, de forma que o efeito da produtividade da inovação sobre a intensidade de P&D, $\frac{\partial k^*}{\partial \lambda}$, depende da taxa de crescimento da economia. Esse é um ponto crucial na crítica ao mecanismo de funcionamento da TII, como veremos nas conclusões do trabalho.

Pode-se estabelecer uma relação entre os gastos em P&D e as “variáveis” do sistema cujas condições de estado estacionário analisamos, seguindo Aghion & Howitt (1996:20):

$$\bar{P}\bar{D} = gv^*(g, \rho, \sigma, \delta_k, \omega, \Gamma) \quad (7.11)$$

A expressão (7.11) pode indicar que o crescimento nem sempre garante um maior esforço de P&D, basta a elasticidade $v'(g) \frac{g}{v(g)}$ ser maior que 1 em módulo, ou seja, que haja uma grande sensibilidade do valor esperado da inovação em relação à taxa de crescimento, nas condições de estado estacionário.

Essa possibilidade não parece de forma nenhuma trivial – uma economia que cresça a uma taxa elevada por períodos prolongados adquire escala para diluir os enormes custos fixos associados ao P&D, o que parece ter sido o caso da economia dos EUA nos anos 90. A idéia de que exista uma ligação entre a taxa de crescimento e o valor esperado da inovação e portanto sobre as decisões endógenas de investir em P&D sugere que exista uma complementaridade entre gastos de P&D e acumulação de capital. Esse ponto é central para a crítica da idéia de que as decisões sobre gasto esteja mais atada à modalidade de inovação derivada de uma expectativa de ganho associada unicamente à redução de custo de produção do setor final pelo uso menos intenso do fator que se torna escasso e que causa o viés.

7.2 Complementaridade entre capital e esforço de P&D

O modelo a ser apresentado é um detalhamento do modelo geral apresentado acima que tem por objetivo evidenciar a complementaridade entre acumulação de capital e P&D. Optou-se pela formulação mais simples, em que apenas capital participa da produção do setor intermediário, o que facilita a idéia de intensificação progressiva do capital no setor à medida em que a fronteira tecnológica se desloca.

Essa simplificação, todavia, não altera, como bem mostram Howitt & Aghion (1998:122 e seguintes) o resultado essencial, que é mostrar a complementaridade entre o processo de acumulação de capital e o esforço de P&D e uma idéia de política (também debatida por Segerstrom, 2000) de que o financiamento ao capital (na forma de subsídios) tem vantagens sobre financiar (subsidiar) diretamente a pesquisa tecnológica por gerar menos problemas de agência (ver David, Hall & O'Toole, 1999).

Novamente, o modelo segue a formulação que foi apresentada ao longo do capítulo 6. Procuraremos apresentar apenas seus aspectos diferenciais.

A estrutura intersetorial é levemente alterada, em função da ênfase que se deseja colocar no papel do capital na produção de bens intermediários, que está ligada aos ganhos monopolistas com a inovação. Assim, as equações (7.1) e (7.2) são substituídas pela formulação condensada abaixo:

$$Y_t = \int_0^1 A_{it} F(x_{it}, L) d_i \quad (7.12)$$

em que L é a quantidade de trabalho utilizada para produzir o produto final (Howitt & Aghion, 1998:113).

As condições de segunda ordem são garantidas, assim como a essencialidade dos bens intermediários. De resto, as condições de agregação dos bens intermediários e as hipóteses simplificadoras sobre o processo de inovação e de competição entre firmas e entre setores são mantidas.

A vantagem do monopolista - que também neste modelo leva à exclusão do concorrente direto, assumindo que as inovações são direcionadas a produtos intermediários específicos, em um *continuun* de bens intermediários - dá-se da forma que foi descrita em 6.1. A partir desse modelo monopolista de competição em preços - passível de críticas e modificações certamente - obtém-se a equação de arbitragem correspondente.

Temos que $c_t = r_t + \delta - S_k$ é a expressão de equilíbrio para o custo de uma unidade de capital. A expressão $c_t A_{it} x_{it}$ fornece o custo do capital indexado pela safra correspondente, ou seja, por sua maior complexidade tecnológica; S_k é o subsídio por unidade de capital. Como

vimos, a agregação do capital a partir de sua utilização na produção de bens intermediários faz com que $K_t = A_t x_t$, o que também poderia ser questionado por sua excessiva simplificação.

Modificando um pouco o modelo geral temos que $k_t = K_t / A_t L$ e impondo as condições de 1.ª ordem, para o argumento k_t , inserido em (7.12), tem-se $c_t = F_1(k_t, L, L) + k_t L F_{11}(k_t, L, L)$; e supondo válido o teorema de Euler (F_1 homogênea de grau zero), chega-se à condição de equilíbrio:

$$c_t = F_1(k_t, 1) + k_t F_{11}(k_t, 1) \quad (7.13)$$

O lado esquerdo de (7.13) é a receita marginal obtida pela monopolista com a inovação para uma unidade de capital (dividido pela produtividade e pelo montante de trabalho) alocado em pesquisa.

A expressão do lucro do monopolista é obtida então subtraindo da receita total o custo total, ou seja $\pi_t(k_t) = A_t k_t (F_1 - c_t)$. Note que isso é resultado de um processo de agregação com base em hipóteses simplificadoras. Considerando o valor do custo do capital em (7.13) e substituindo na expressão do lucro, obtém-se:

$$\pi_t(k_t) = -k_t^2 F_{11}(k_t, 1) \quad (7.14)$$

que é estritamente crescente em k_t .

O resultado obtido em (7.14) seria uma clara indicação da complementaridade da acumulação de capital e os lucros esperados da inovação. Em cada setor o monopolista inovador tem um lucro $\pi_{it} = A_{it} \pi(k_t) L$, sendo $\pi' > 0$, que está relacionado ao lucro agregado pelo índice de produtividade e de certa forma pela distância da fronteira.

O passo seguinte é explicitar como a dinâmica de inovação do modelo multisetorial estaria vinculada ao movimento da economia.¹⁷⁰ A dinâmica de inovação é bastante semelhante à descrita em 7.1, com a diferença de que a variável n substitui a função $u(\cdot)$, entendida como o

¹⁷⁰ A importância da mobilidade de recursos das atividades produtivas para a pesquisa, principalmente o capital humano, é um ponto enfatizado por Lucas (1988). No presente modelo assume-se de forma extremamente simplificada que o mecanismo de *spill over* permite ao mesmo tempo o avanço do conhecimento comum e a apropriação monopolista dos ganhos de inovação e, por isso, a questão da mobilidade não é central.

montante de produção desviado para a pesquisa, sendo, pois, n variável endógena de interesse. A quantidade de recursos destinadas a P&D, n_t , é deflacionada pelo parâmetro A^{max} , indicando por um lado a crescente complexidade da economia, tornando o modelo bem comportado, estacionário, evitando uma relação explosiva entre gastos de P&D e crescimento. Também indica que o gasto de P&D só é efetivo quando considera o efeito da fronteira tecnológica. Assim, gastar com um herbicida “superado” não deveria ser integralmente tomado como responsável por inovação na agricultura.

A função que define a probabilidade de surgimento da inovação e a relacionada com o esforço de P&D corresponde a uma simplificação de (7.3), sendo muito próxima ao descrito em 6.1, $\phi_t = \lambda n_t$. A variável n_t representa a intensidade das atividades em P&D, ou seja, o volume de recursos destinado a este tipo de atividade dividido por A^{max} . Em modelos indexados no tempo, o volume de recursos *per capita* alocado em atividades de P&D exigiria que se multiplicasse n_t por A^{max} / AL , que daria o gasto *per capita* desviado de outras atividades da economia.

Segundo esse modelo multissetorial com inovação, desenvolvido em 6.2, a relação entre cada setor e a fronteira faz com que os lucros esperados nos distintos setores seja igual, o que é uma simplificação muito forte, já apontada nos itens do trabalho mencionados nesse parágrafo.

Há ainda mais um pressuposto simplificador da dinâmica multissetorial relacionada ao processo de inovação: de que a evolução da variável a (ver 6.2) converge para um valor relacionado a fator de proporcionalidade $\zeta > 0$, que fornece o impacto do conhecimento novo em conhecimento comum.

Formalmente, chamando de T a relação estabelecida a cada instante t entre A_t^{max} e A_t (ou seja $1/a$), $\partial T / \partial t \cdot T$ tende $1 + \zeta$. Isso significa que quanto menor o impacto da inovação no conhecimento comum, menor a distância de setores da fronteira no longo prazo, assim como menor a taxa de crescimento a cada instante. Quanto maior o efeito da inovação no conhecimento geral – o que parece ferir o senso comum – maior a distância quanto a convergência for atingida, entra a fronteira o parâmetro setorial que representa os estabelecidos (incumbentes). Tal resultado deriva do processo de destruição criadora e do processo *putty-clay* associado ao crescimento da economia.

Assumindo que a fronteira se desloca segundo a seguinte equação de movimento:

$$g_t = g_{A^{\max}} = \zeta \lambda n_t \quad (7.15)$$

Juntando (7.14) e (7.15) percebe-se que o efeito do capital sobre os lucros esperados pela inovação é crescente e decrescente sobre o fator de desconto, que, como vimos, afeta o tanto o valor esperado da inovação quanto o custo de oportunidade dos recursos aplicados em pesquisa, gerando uma dinâmica bem comportada, compatível com a existência de um estado estacionário.

Vamos fazer um resumo antes de passar para a definição da equação de arbitragem que expressa a decisão de investir de cada firma inovadora:

- a) O produtor de bem intermediário é motivado pela dinâmica competitiva originada da inovação, sua fonte de lucros de monopólio;
- b) Isto implica desviar uma parte do produto que seria obtida com capital (ajustado pela produtividade da fronteira, refletindo a crescente complexidade tecnológica) para atividades em P&D;
- c) Dessa alocação resulta uma contribuição para o conhecimento comum, que varia segundo um parâmetro que também afeta a distribuição de setores na fronteira e os *lagged behind*. Nesse processo não há persistência de efeitos e sim uma distribuição de probabilidade uniforme entre setores na apropriação dos ganhos de inovação;
- d) O deslocamento da fronteira tecnológica arrasta o crescimento de toda a economia. As variáveis macroeconômicas, todavia, afetam a decisão de investir capital em inovação e, com isso, o próprio crescimento.

Nesse modelo simplificado, a equação de arbitragem iguala o custo líquido de uma unidade marginal de P&D com o ganho marginal fornecido pelo uso da inovação. Como vimos, o custo de alocar uma unidade é dado por n_t . Desconta-se o subsídio S_n (nesse caso, incidindo sobre o produto desviado para pesquisa). A idéia de recurso líquido significa dividir esse montante também por A^{\max} , ou seja, corrigido pelo ganho de produtividade. Com isso o lado esquerdo da equação de arbitragem é $I - S_n$.

Do lado direito, a equação de arbitragem parte de uma simplificação da expressão (7.5), que dá o valor da inovação a cada momento t . Transforma-se em $\lambda V_t / A^{\max}$, o que é o mesmo,

segundo o que foi apresentado em 6.1, que cada unidade de gasto em P&D aumenta a a probabilidade de surgimento de uma inovação, ou seja, altera a taxa de chegada de inovação.

Partindo então de:

$$V_i = \int_t^{\infty} e^{-\int_t^{\tau} (r_s + \phi_s) ds} \tilde{\pi}(k_{\tau}) L d\tau \quad (7.16)$$

em que r_s é a taxa de capitalização instantânea (entendida como a taxa de juros da economia) e ϕ_s refere-se à probabilidade de um agente monopolista estabelecido ser deslocado por um agente inovador, pode-se obter a equação de arbitragem do modelo em que capital é o insumo fundamental da produção de bens intermediários.

Utilizando o mesmo procedimento adotado em várias passagens de 6.1 e 6.2 e chamando o rendimento esperado ajustado pela produtividade, V_i / A^{\max} , de v_i , obtém-se uma equação do tipo Bellman (ver nota 124) ao se derivar (7.16). Assumindo-se que $\dot{v}_i = 0$ (uma vez que o valor de v_i é igual a $1 - S_n / \lambda$, mesmo fora do estado estacionário), chega-se a uma expressão da equação de arbitragem que permite interpretar as relações entre gastos em P&D e investimento em capital:

$$1 - S_n = \lambda \frac{-k_i^2 F_{11}(k_i, 1) L}{r_i + \lambda n_i} \quad (7.17)$$

Partamos de $k_i = \frac{K_i}{A^{\max} L}$. Expressando a relação em termos de taxas de crescimento no tempo, obtém-se que $g_{k_i} = g_{K_i} - g_{A^{\max}} - g_L$. Caso assumíssemos o modelo S-S convencional, teríamos que $dK_i / dt = (f(K) - C - \delta K_i)$. Todavia, temos que considerar que uma parte dos recursos é destinada a atividades de P&D, que resulta em $dK_i / dt = (f(K, L) - C - \delta K - (n_i(1 + \varsigma)))$, uma vez aplicado a n_i o fator de correção que mencionamos no início deste item.

Substituindo na expressão relativa às taxas de crescimento chega-se na expressão de crescimento do capital que incorpora o termo relacionado à inovação:

$$dk_i / dt = [(f(k) - c - (n_i(1 + \varsigma) / L)] + (\varsigma \lambda n_i - \delta) k_i \quad (7.18)$$

em que c é o consumo *per capita* corrigido pela produtividade. A relação entre \dot{k} e a inovação

tecnológica é clara: depreciação e inovação (no caso, decidida intencionalmente e não apenas um resíduo) reduzem a acumulação de capital e a parte entre colchetes fornece a quantidade de recursos destinada à acumulação de capital. A destruição criadora atua também em (7.18) e os recursos desviados para pesquisa tem as mesmas características econômicas do capital aplicado em outros setores (o que é uma simplificação da idéia de que o impacto da inovação é local, mas que diferentes modalidades de capital possam ser redirecionadas para a pesquisa). Emprestamos a solução convencional de uma trajetória de consumo intertemporal, nas condições apresentadas em (2.8) e também a partir da solução obtida pela aplicação da Equação de Euler, levando em conta também o efeito da inovação tecnológica, que agora é endógena, a saber

$$g_c = \frac{r - \rho}{\sigma} - g_t \quad (7.19)$$

Como em 7.1, obtemos o sistema de equações a partir das equações de movimento do capital e do consumo, novamente incorporando ao tratamento convencional ao tipo de estrutura da economia descrita no início do item. Tomando a expressão (7.18) e escrevendo (7.19) com base no que foi apresentado acima (para incluir o subsídio ao capital) e em (7.13), resulta em:

$$\begin{aligned} \dot{k}_t &= f(k_t) - c_t - [\tilde{n}_t(k_t)(1 + \zeta)/L] - [\delta + \zeta\lambda\tilde{n}_t(k_t)]k_t \\ \dot{c}_t &= c_t[(F_1(k_t, 1) + k_t F_{11}(k_t, 1) - \delta + S_k - \rho)/\sigma - \zeta\lambda\tilde{n}_t(k_t)] \end{aligned}$$

Howitt e Aghion (1998:129) mostram que existem condições de estabilidade de ponto-de-sela nesse sistema ¹⁷¹. Temos $(F_1(k_t, 1) + k_t F_{11}(k_t, 1) < 0$, o que deriva das características da função de produção (ver crítica de Segerstrom, 2000:279) e $\tilde{n}'(\bar{k}) > 0$, conforme discutimos acima. Isso faz com que o determinante Jacobiano seja negativo, o que confirma a existência do equilíbrio do tipo mencionado.

$$\begin{bmatrix} f'(k_t) - \delta - g - \tilde{n}'(\bar{k}) \left(\frac{1 - \zeta}{L} + \zeta\lambda\bar{k} \right) & -1 \\ \tilde{c} [2F_{11}(k_t, 1) + k_t F_{111}(k_t, 1) / \sigma] - \zeta\lambda\tilde{n}'(k_t) & 0 \end{bmatrix}$$

A idéia de estabilidade nesse caso está associada ao duplo efeito da inovação sobre o crescimento e sobre a acumulação de capital. Por um lado, a “destruição criadora” abre

¹⁷¹ Ver Chiang (1992: 120 e seguintes).

radicalmente espaço para a acumulação de capital reduzindo com isso a taxa de desconto da inovação. Por outro lado, o sistema não é explosivo (rendimentos crescentes associados ao efeito da inovação) pelos efeitos sobre o mercado de trabalho, no desvio de recursos para a pesquisa (que inclusive seriam utilizados em processos de aprendizado) e também por pressionar o fator de desconto.

A partir de Aghion & Howitt (1992) e do desenvolvimento feito acima chegamos às equações que caracterizam as condições de estado estacionário do sistema, sintetizado em um sistema de 4 equações:

$$(F_1(k_t, 1) + k_t F_{11}(k_t, 1)) = \text{custo do capital} = r + \delta - S_k \quad (7.20)$$

mais:

- as condições impostas ao investimento em pesquisa (dada pela equação (7.17));
- as condições tradicionais que relacionam a taxa de juros ao crescimento do consumo, a partir de (7.19), ou seja, $r = \rho + \sigma g$ e;
- a equação que define a relação entre inovação (deslocamento da fronteira) e crescimento, expresso em (7.15).

O sistema pode ser reduzido, por substituição de r e g , a duas equações, semelhante ao que foi feito em 7.1.

$$(F_1(k_t, 1) + k_t F_{11}(k_t, 1)) = \rho + \sigma \zeta \lambda n - S_k + \delta \quad (7.21)$$

e

$$1 - S_n = \lambda \frac{-k_t^2 F_{11}(k_t, 1) L}{\rho + (\sigma \zeta + 1) \lambda n_t} \quad (7.22)$$

A estática comparativa mostra que:

- a) Um maior gasto em pesquisa pressiona a taxa de juros e reduz o capital aplicado: a curva relativa à expressão (7.21) é negativamente inclinada;
- b) Uma maior intensidade de capital aumenta os lucros (ou seja, $-k_t^2 F_{11}(k_t, 1) > 0$) e com isso as decisões de investimento em pesquisa;

- c) O subsídio ao capital desloca a curva de capital para a direita, com efeito positivo sobre o equilíbrio do estado estacionário;
- d) a taxa de crescimento do estado estacionário depende basicamente dos parâmetros relacionados à produtividade da pesquisa, de seu efeito de transbordamento e das decisões de gasto em pesquisa, que por seu turno depende da equação de arbitragem.

A partir de (7.17) obtém-se a expressão do gasto em inovação, $n(k_t) = \frac{-k_t^2 F_{11}(k_t, 1)L}{1 - S_n} - r_t/\lambda$. A primeira parte do numerador é estritamente crescente em k_t , assim como o subsídio dado ao capital é uma fração, ou seja, $0 < S_n < 1$. Mostra-se, como fizemos até aqui, que $n_t = \tilde{n}(k_t)$, $\tilde{n}' > 0$, ou seja, que um maior volume de recursos é destinado a P&D quando o capital (deflacionado pela produtividade) aumenta.

Resumindo, os gastos em P&D aumentam com o aumento do fluxo de capital pois este tem efeito sobre os lucros, o que corresponde ao efeito sobre a primeira parte do numerador do lado direito da equação (7.17) (ver a expressão (7.14)). Dentro da perspectiva de equilíbrio que está na base desse tipo de modelo “schumpeteriano”, o maior uso do capital tem um efeito redutor sobre a taxa de juros do sistema, reduzindo o fator de desconto sobre os lucros recebidos. É fundamental perceber que gastos em P&D passaram a ser afetados pelas variáveis que afetam seu preço, ao contrário do trabalho, que no modelo apresenta oferta inelástica L .

Dois comentários adicionais:

A consideração do capital humano sujeito a decisões econômicas, ou seja, $n = G^n (K^n / A^{max} \cdot L^n)$ atenua a relação entre os recursos aplicados em P&D e a acumulação de capital e, conseqüentemente, o efeito benéfico do subsídio ao capital e à pesquisa no crescimento de longo prazo, mas não altera o resultado apresentado acima. (Howitt & Aghion, 1998:120).

A razão é clara: se trabalho for um único fator utilizado em P&D, das 4 condições apresentadas acima apenas uma se altera, a equação (7.17) e a equação que fornece o preço do salário de eficiência, que aqui se torna fundamental: um uso mais intenso de capital corresponde ao aumento do salário de eficiência que, então, age no sentido contrário ao efeito da intensificação de capital no lucro do monopolista. Espera-se que casos intermediários (em que

ocorra um *mix* entre capital e trabalho aplicado em atividade de P&D) mantenham as características – ainda que atenuadas - do sistema “puro”.

O ponto fundamental para a crítica da TII está na percepção da importância das características do setor de pesquisa, de suas características como atividade econômica, que suplanta em termos de efeitos sobre o crescimento o papel das modalidades de inovação que discutimos em 4.2.

Finalmente, cabe uma breve discussão sobre o desenvolvimento de modelos fora do estado estacionário. A equação de arbitragem, que é central em nossa análise, é válida fora do estado estacionário, como vimos, mas as relações que estabelecemos podem não ocorrer no curto prazo, ao contrário, em situações de transição podem ser opostas ao esperado. Por exemplo, um gasto em P&D que afete os recursos destinados a *LBD* podem ter um efeito de redução do crescimento no curto prazo. O mesmo ocorreria quando a decisão de inovar levasse uma economia a utilizar o capital de forma mais intensa.

A importância deste capítulo para a crítica da TII e para a análise da relação entre inovação e crescimento endógeno é fundamental. Enfatiza-se a composição da pesquisa e de sua relação com as variáveis que definem trajetórias macroeconômicas de acumulação de capital e consumo. Supera-se assim a dicotomia presente, por exemplo, no trabalho de Stern (1996), entre os modelos de crescimento endógeno (em suas versões *AK*) e a TII. A decisão de investir em P&D não está apenas relacionada ao seu impacto sobre o setor em que se aplica, mas é afetada pelas características do setor de pesquisa e dos efeitos do crescimento sobre as variáveis econômicas. Um setor de pesquisa com elevada intensidade de capital em sua composição pode se beneficiar do próprio efeito do crescimento gerado pela inovação sobre a acumulação de capital. A maior importância do capital humano e do trabalho reduz esse efeito, mas só no caso extremo em que a pesquisa é totalmente dependente do capital humano poderia tornar inócua as políticas de incentivo à pesquisa e à acumulação de capital.

Nesse sentido, a própria idéia de que a decisão descentralizada de investir em modalidades poupadoras do fator escasso levaria a uma correção de um viés induzido pelo governo (por exemplo, subsidiando capital) e pior ainda, a idéia de que possa existir, na análise de crescimento de longo prazo, algo como um “viés ótimo”, decidido institucionalmente (de Janvry, Sadoulet e Fafchamps, 1995), desconsidera os determinantes para o gasto em P&D que

enfatizamos a partir dos modelos apresentados, que ainda que não representem uma economia real, dão indicações substantivas de que no mundo real, a TII é um caso particular, cujo efeito está condicionado a um conjunto maior de efeitos que tratamos nos dois últimos capítulos deste trabalho.

8 Conclusões

Este trabalho concentrou-se na discussão das relações entre inovação tecnológica e crescimento a partir de duas correntes básicas que trataram do tema, sem todavia, cobrirem todo universo das visões desenvolvidas nos últimos 40 anos. A discussão foi feita em termos das formulações teóricas e modelísticas, sem se preocupar com referências históricas e com as críticas baseadas no “realismo das hipóteses”, como faz Heller (2000) a partir do pensamento de Joan Robinson.

As conclusões estão organizadas segundo os temas abordados ao longo da tese. Consideramos inicialmente a inserção da Teoria da Inovação Induzida no contexto da relação entre trajetórias de crescimento e os agregados macroeconômicos. As críticas que emergem dessa análise atestam a fragilidade do tratamento macroeconômico das relações entre crescimento e inovação, especificamente a hipótese da inovação induzida.

Em seguida, tratamos da formulação microeconômica da Teoria da Inovação Induzida, mostrando como alguns de seus elementos centrais voltam à baila nos modelos de crescimento endógeno, que, apesar dos elementos comuns na formulação básica, afastam-se da TII ao colocar a ênfase (ainda que de forma estilizada) na composição e organização das atividades de pesquisa, dos fatores micro-macro que comandam a decisão de investir. Nesse contexto TII aparece como um mecanismo pontual de inovação e não um mecanismo central para que a coerência entre inovação e o sistema de preços seja mantida.

Finalmente fazemos uma breve discussão das limitações desses modelos face a uma visão mais ampla de crescimento e desenvolvimento econômico.

8.1 A Teoria da Inovação Induzida no contexto macroeconômico

A formulação da TII feita por Hicks - que Olmstead & Rhode (1993:102) denominaram de “efeito mudança” - é bastante genérica, incluindo vários efeitos. Ganhou uma expressão sintética e de grande apelo intuitivo, na proposição de que o efeito da mudança dos preços relativos sobre a atividade inovativa “facilita” a substituição do fator escasso e conseqüentemente, aumenta a eficiência da economia, na forma de redução de custos.

O relativo sucesso dessa visão na literatura de economia agrícola também fica evidente tanto nos trabalhos de Hayami & Ruttan (1985) e trabalhos posteriores, desde o já mencionado

trabalho dos historiadores Olmstead & Rhode: além mencionado pelo intuitivo, há o conforto “ideológico” em saber que o sistema de preços comanda inclusive a atividade inovativa.

Essa hipótese dá o sentido de endogeneidade à Teoria da Inovação Induzida, uma das pioneiras na busca de explicações para o resíduo tecnológico apresentado no capítulo 2: ele é endógeno pois determinado por variáveis/parâmetros econômicos e não pelas características do progresso científico e tecnológico.

Todavia, a noção de endogeneidade não está estritamente ligada ao papel dos efeitos dos preços relativos sobre a modalidade poupadora do fator. Na literatura que chamamos “fundamentalista do capital” a endogeneidade está relacionada à noção de efeito permanente do choque inovador, que é transmitido pelo capital.

As diferenças entre os modelos de crescimento que dão “suporte” aos modelos que incorporam a inovação tecnológica é pois fundamental para o entendimento dos diferentes sentidos dados à endogeneidade da inovação tecnológica. O capítulo 2 é apenas introdutório, resumindo modelos que são bastante conhecidos e não permitem concluir nada sobre o tema tratado. Além de apresentar as distintas modalidades de progresso técnico (ver Figura 2.1), o capítulo 2 indica algumas questões para os capítulos seguintes:

a) Há duas formulações básicas que relacionam inovação e crescimento: a primeira procura atualizar o modelo Solow-Swan, no sentido de incorporar trajetórias dinâmicas de consumo e do capital, na presença de progresso técnico exógeno; a segunda se apóia no “fundamentalismo” do capital, ou seja, na capacidade de certos choques de produtividade serem absorvidos pelo capital que se acumula, com impactos nas condições de crescimento.

b) Nos dois casos, o importante é manejar adequadamente as funções de produção e de acumulação do capital e analisar os resultados. Os testes empíricos são fáceis de ser conduzidos, seja para mensurar a participação do progresso técnico no crescimento ou para captar o grau de permanência dos choques segundo os fatores associados mais diretamente à acumulação de capital, como, por exemplo, o impacto da educação e da infra-estrutura eliminando gargalos para o crescimento sustentável.

Em resumo, as duas visões têm em comum o objetivo de explicar as razões do desenvolvimento sustentável. A divergência, profunda, está no papel da acumulação de capital em cada um dos modelos. A Teoria da Inovação Induzida estaria no extremo de não só procurar

dar uma explicação para o resíduo tecnológico, mas de relacioná-lo ao sistema de preços, refletindo não apenas a dotação de fatores – o que a torna uma teoria limitada a explicar trajetória poupadora de fatores não-reprodutíveis ou cuja reprodução os torna relativamente escassos ao longo de uma trajetória de crescimento – mas também a capacidade de antecipação dos sinais dados pela trajetória de inovação.

No outro extremo estaria uma teoria cuja preocupação está fundamentalmente em dar base analítica para testes de sustentação do papel da acumulação de capital em sustentar o crescimento, manter uma relação linear entre as modalidades de acumulação e crescimento, sem uma preocupação explícita com as atividades de inovação e menos ainda com o papel de algum “setor produtor de inovações”. Mostramos que um “aperfeiçoamento” desse modelo é introduzir a acumulação de capital humano, atividade intensiva em capital, cuja mensuração é foco de fortes atenções.

A importância do capital humano “turva” a distinção entre fatores e traz a questão de como introduzir sua acumulação. Por exemplo, pode-se considerar sua oferta como infinitamente elástica e analisar as condições que determinam a tomada de decisão sobre o quanto e onde alocar o capital humano, do ponto de vista das expectativas geradas por sua utilização. Desta forma, sua decisão não seria determinada pela escassez relativa dos fatores e sim pelas exigências dos processos produtivos e de pesquisa em que o capital humano participa, mesmo sem introduzir nos modelos a incerteza quanto aos resultados futuros. De qualquer forma, o capital humano passa a ser um fator que também se acumula em função das decisões de investimento e não da antecipação de uma escassez, dada a disponibilidade de distintas modalidades de inovação.

Todavia, não se pode esperar que sua acumulação seja pura e simplesmente determinante do crescimento futuro: é preciso avançar na explicação dos mecanismos que são responsáveis por esse efeito, além da engenhosidade do pesquisador no uso de técnicas econométricas de medição da permanência de choques.

Essa discussão leva a três questões, tratadas no capítulo 3:

- a) Como seria a desagregação do resíduo tecnológico, sua relação com a medida de viés?
- b) Quais os mecanismos que comandam a trajetória do progresso técnico, considerado endógeno pela TII? Em que condições seria então definido macroeconomicamente o mecanismo de indução tecnológica?

c) Qual a compatibilidade desse mecanismo com trajetória de crescimento de longo prazo e que implicações oriundas de uma economia multissetorial?

O trabalho percorreu cada uma dessas questões, tendo como pano de fundo as relações entre inovação e crescimento. Como vimos na distinção entre os modelos S-S e *AK*, esse é o ponto que une e separa as duas análises. Os desdobramentos do modelo S-S se apóiam na necessidade de desagregar as fontes de crescimento associadas à inovação e a segunda em identificar formas de acumulação que incorporem de forma mais adequada mecanismos que estimulem o crescimento.

A TII, apesar de ser quase contemporânea do modelo *H-D* e S-S e anterior ao modelo *AK* e os modelos de crescimento endógeno, apresenta a extrema pretensão de não só relacionar inovação a crescimento, mas de vincular o mecanismo de indução à sustentação de fatos estilizados do crescimento: a ação indutora de progresso técnico cumpriria o duplo papel de sustentar a inovação e guiar trajetórias que, por seu turno, uma vez identificadas, tornariam as decisões de política mais racionais ou suscetíveis a decisões de economia política, como no caso da determinação do viés ótimo dos modelos formulados por de Janvry e outros, com base em teorias da escolha racional.

O primeiro ponto permitiu mostrar que a medida do viés está intimamente ligada ao modelo estilizado da economia de que se está tratando. Inicialmente determinou-se a expressão que define o resíduo tecnológico e em seguida ela foi associada ao conceito de viés mais simples, o viés Hicksiano. Esse tipo de viés é definido de forma a decompor a taxa de crescimento da relação capital/trabalho em efeito substituição e viés. Esse viés tem origem no progresso técnico exógeno, não sendo até aqui necessário definir que modalidade de pesquisa foi responsável por sua criação.

O principal resultado dessa definição parte da relação entre a variável relacionada à produtividade da inovação – que evolui no tempo e segundo o valor da relação capital/trabalho – e o viés Hicksiano: é possível traçar um diagrama de fase em que a um certo nível de produtividade da inovação corresponde uma condição de neutralidade. Acima desse valor, o viés é poupador de capital e existe uma trajetória convergente para a neutralidade. Abaixo dele, o viés é poupador de trabalho e a uma maior relação capital/trabalho corresponde também a convergência a um ponto em que não há viés. Em suma, a intensidade da mudança associada às

modalidades de progresso técnico causadores de viés é função do valor da relação capital/trabalho e o “efeito mudança”- *change effect*, segundo Olmstead & Rhode – tende a ir perdendo força caso o efeito de indução (que presumimos existir) respeitasse a hipótese básica da TII.

Ainda no primeiro ponto, há um efeito que se manifesta cada vez que um efeito do progresso técnico afeta uma economia competitiva, com perfeita informação: trata-se do efeito multiplicador do impacto da inovação sobre a economia, resultando na intensificação de capital, ou melhor, de fatores reprodutíveis. A idéia de escassez, antes mesmo que se defina uma trajetória dinâmica da economia, é pois relativizada e qualificada: independente do viés, aquele que responde ao estímulo do efeito de crescimento tende a aumentar sua participação em quantidade na economia.

Este “efeito multiplicador” não necessariamente anula a presença de viés, apenas o requalifica. O viés é entendido como a alteração da participação do capital (em uma economia de dois fatores, obviamente) no produto em função da variação do tempo (*change effect*). Em uma economia representada pela função do tipo Cobb-Douglas, o viés seria o único responsável pela alteração da participação do capital em valor no produto. A dificuldade de substituição de trabalho por capital, representada pela elasticidade de substituição menor que 1 – não só do trabalho, mas, repetimos, de qualquer fator que se torne economicamente escasso ao longo de uma trajetória de crescimento – amplia o viés se ele é poupador de capital e o reduz se o viés é poupador de trabalho.

O tratamento agregado desenvolvido até aqui centra-se na mensuração e nos impactos de vieses absolutos, que correspondem ao chamado efeito mudança, induzido pelos preços relativos. A percepção de que um “fator escasso” possa ser poupado sem alteração dos preços relativos (o chamado “*level effect*” de Olmstead & Rhode, 1993) demanda uma nova comprovação da TII, por indicar, à primeira vista, que ocorreu um “choque exógeno incorporado e não um efeito induzido.

Essa comprovação foi feita em 3.3, com base na discussão originada do trabalho de historiadores que trataram da evolução da Europa e dos EUA. A definição do viés relativo abre um caminho que não seguimos no trabalho, mas que é de interesse para a discussão da TII: a comparação entre países como forma de comprovar o efeito da indução tecnológica. Esta é uma

questão que aparece várias vezes no trabalho: os testes da TII estão fortemente condicionados pela estilização da economia que lhes dá sustentação. O que o trabalho mostra é que é possível caracterizar precisamente o efeito de indução por meio do viés relativo, para uma Função de Possibilidades de Inovação (FPI), mas é pouco provável que distintos países estejam na mesma (FPI). A Figura 3.2. mostrou que a localização do viés relativo de um país na FPI de outro é feita em “faixas” e não com base em uma correspondência ponto a ponto. Isto sugere que as comparações entre EUA e Japão no que tange ao efeito induzido de inovação na agricultura não passam pelo crivo do teste da correspondência entre FPI. Além disso, a indução com base no conceito de viés relativo reduz a importância do viés para a mudança tecnológica.

A primeira questão fica assim completamente caracterizada. O desenvolvimento da segunda questão tem como resultado evitar um erro bastante comum cometido por parte daqueles que buscam testar a hipótese da inovação induzida: misturar a estimativa da elasticidade de substituição com a medida de viés e do progresso técnico. Não basta constatar, por um lado, que um choque de inovação é “modelado” no sentido de causar um viés. O efeito depende da importância relativa do fator não-reprodutível no produto, é afetado pelo efeito multiplicador e depende também da elasticidade de substituição.

A tentação que se segue é, para endogeneizar o progresso técnico, vinculá-lo diretamente a seu efeito na capacidade de substituição do bem escasso: a inovação permitiria a substituição do fator escasso. Ficou claro que se a elasticidade de substituição é afetada pela inovação, a estimativa do viés e a comprovação da TII passam por um problema de identificação, cuja solução foi apontada por Diamond e outros, mas existem algumas suposições restritivas. Isso sem contar que os estudos econométricos para estimativa de viés e teste da TII estão severamente sujeitos à crítica de Lucas, pelo efeito de políticas na definição das atividades de pesquisa, que tratamos de maneira bastante pontual ao longo desse trabalho.

A resposta para a circularidade do problema é dada pela introdução da FPI. Essa fronteira é definida no curto prazo e introduz modalidades incorporadas de inovação, poupadoras do fator escasso. O conhecimento dessa fronteira e da elasticidade de substituição permite identificar o *mix* de inovação que satisfaz a proposição da TII.

O problema, de certa forma já enunciado no capítulo 2, refere-se à relevância macroeconômica desse efeito. Caso a TII esteja limitada a um efeito de curto prazo, pouco deve

dizer entre relação entre inovação e crescimento e deve portanto passar pelo desenvolvimento de microfundamentos mais bem construídos que os derivados da definição de FPI, um instrumento estático a servir para algo que, por sua natureza, interfere na natureza dinâmica (aceitando-se inclusive como sendo dinâmicas as formulações baseadas em trajetórias ótimas) da economia. A solução estava na análise da relação entre indução e trajetórias de crescimento balanceado, que são tomadas como referência, não como uma imposição para a existência de indução.

O resultado é obtido para uma economia agregada, com dois fatores, com pressupostos bem comportados de rendimentos constantes na função de produção, uma taxa de poupança constante e em que a taxa de crescimento da população se igual à oferta de trabalho não qualificado

Na condição em que a relação capital/produto se mantém constante, na presença de modalidades incorporadas de progresso técnico e para valores factíveis da elasticidade de substituição (seguindo as condições impostas por Diamond e outros, já mencionadas) chega-se a uma situação em que para uma função Cobb-Douglas o viés é determinado totalmente pela taxa de crescimento da modalidade poupadora do fator reprodutível.

Quando a elasticidade de substituição é menor que 1, atinge-se uma situação de equilíbrio dinâmico com o predomínio da modalidade poupadora do fator-não reprodutível (no caso o trabalho) e, com elasticidade superior a 1, gera-se um deslocamento em direção à modalidade poupadora de capital, ainda que, pelos efeitos dinâmicos sobre a economia, gere-se uma situação de instabilidade.

A discussão desloca-se para a consistência desse resultado. Partindo-se do fato estilizado, válido para economias desenvolvidas, de que se verifica uma forte estabilidade na participação do capital no produto, discute-se se a situação de estabilidade, em que a elasticidade de substituição é menor que 1, pode ter uma explicação consistente com a hipótese da TII.

A solução está apoiada no trabalho seminal de Atkinson e Stiglitz (1969), citado no texto, que depois foi incorporado e retrabalhado por autores “neoschumpeterianos”, como Nelson, Winter e Antonelli, entre outros: o desenvolvimento tecnológico é local, feito na vizinhança das técnicas em utilização. A razão fundamental apontada por essa localização é microeconômica, ou seja, a incerteza radical associada à inovação, e não a necessidade de explicar a “trajetória estável”, identificada pelo desenvolvimento feito no capítulo 3 do trabalho.

A junção de incerteza radical e desenvolvimento local gerou uma sólida literatura “neoschumpeteriana” em que a competição pela busca de sobrelucros está associada à inovação, do ponto de vista microeconômico. O processo de inovação é ligado ao de difusão ao longo de trajetórias que determinam, em sua interação com o mercado, as condições de seleção que a cada etapa redefinem o ambiente em que as decisões de inovar são tomadas: indivíduo e ambiente interagem e se redefinem.

O trabalho do pesquisador é, a partir de fatos estilizados, simular trajetórias inovativas co-evoluindo com processos decisórios. O trabalho de Possas *et alii* (2001) é um exemplo dessa linha de pesquisa. O mais interessante é que, apesar de se afastar completamente da linha de trabalhos apoiados no modelo S-S e nos pressupostos de economia neoclássica, o trabalho de Metcalfe (1997) obtém resultados compatíveis com a trajetória de crescimento balanceado.

Seguindo a linha metodológica proposta no trabalho, apontamos, na Tabela 1, que a prática de privilegiar a investigação local seria a explicação para a elasticidade menor que 1. O processo de curto prazo seria então coerente com a relação que estabelecemos entre viés Harrodiano e Hicksiano. Com elasticidade de substituição menor que 1, apoiada no idéia de busca localizada, o processo levaria, em uma economia competitiva, ao viés Hicksiano intensificador do uso de capital.

Passamos finalmente ao terceiro ponto: a idéia de que o próprio processo inovador induza, na busca localizada, uma intensificação de capital mostra duas limitações das tentativas de explicar as relações entre inovação e crescimento por meio da discussão de agregados e mudanças na participação dos fatores no produto, pois este tipo de indução tecnológica é localizado, criando fenômenos de *path dependence* locais e não generalizados.

Assumindo que o processo de agregação é resultado da soma do que se passa em uma economia multissetorial, os resultados obtidos para uma economia agregada só são conseguidos em uma economia multissetorial com a imposição de restrições. O tratamento multissetorial enfraquece, portanto, a eficiência do mecanismo de indução definido pela TII.

O desenvolvimento realizado no capítulo 3, ao contrário, mostra que a operação do mecanismo de indução converge para a “neutralização” do viés. Em uma situação multissetorial tanto a identificação do viés quanto sua relevância se diluem. Logo, a extensão do mecanismo microeconômico de preços – como portador de informação relevante - que nos modelos de

equilíbrio geral gera a situação de estabilidade ao apontar o vetor de excedentes dado o vetor de dotações, não se aplica a um problema em que justamente a alteração das dotações e não apenas sua alocação eficiente está em jogo.

Resumindo as conclusões no que se refere ao tratamento macroeconômico da TII, são as seguintes:

a) É possível definir com clareza a TII em termos do efeito indutivo do viés, tomado de forma absoluta e relativa. Os dois resultados são distintos: a discussão do viés relativo aponta para o cuidado de não assumir uma única FPI em países com dotações distintas, ou seja, com distintas relações entre fatores reprodutíveis e não-reprodutíveis. A discussão com base no viés absoluto volta-se para a discussão das trajetórias da economia, uma vez que sua discussão de curto prazo tem pouco interesse em termos do objetivo primordial da TII que é o de orientar políticas de longo prazo para o crescimento;

b) A relação entre viés, indução tecnológica e trajetória leva a resultados que ao mesmo tempo confirmam as observações teóricas de Binswanger (1978) de que a TII não está necessariamente relacionada a trajetórias Harrod-neutras. Mostrou-se que para certos valores da elasticidade de substituição, surgem trajetórias instáveis predominantemente poupadoras de capital e que apenas uma trajetória estritamente poupadora de trabalho, com elasticidade de substituição menor que 1, levaria a uma situação de equilíbrio estável;

c) Tais observações mostram que o resultado do mecanismo indutor gera, com exceção da trajetória H-D uma indeterminação em que a estimativa da elasticidade de substituição e a estimativa do viés exigem a imposição de condições restritivas. A percepção do viés torna-se menos clara em uma economia multissetorial;

d) Em outras palavras, o mecanismo da indução estaria operando, mas seria facilmente diluído no contexto de outros mecanismos. A saída preconizada para o longo prazo, introduzindo uma meta-função de produção na forma da Fronteira de Possibilidades Históricas cria uma contradição, uma vez que se espera, seguindo um raciocínio bastante comum nas formulações de equilíbrio geral e comércio, que a elasticidade de substituição seja maior na Função de Possibilidades Históricas de Inovação (IPC) que na FPI. Com isso, a probabilidade de uma trajetória estável originada do efeito da TII seria ainda menor no longo prazo.

e) A IPC estaria associada apenas à idéia de que no longo prazo as oportunidades tecnológicas se ampliam, sem que necessariamente os agentes, presos a tecnologias cujo desenvolvimento é local, tenham acesso garantido à essa variedade.

O trabalho até aqui responde às três questões propostas sem negar a possibilidade formal de definição do mecanismo da inovação induzida. Considera-se apenas que sua importância é reduzida, em um contexto mais amplo de economias multissetoriais e inovadoras.

Finalmente, a proposição de que o problema da indução esteja no aperfeiçoamento dos canais de transmissão dos sinais dados pelos preços relativos, operando, por exemplo, por instituições de pesquisa –que sofrem a influência de agentes racionais com interesses politicamente articulados em grupos de interesse e portanto fracionados, sujeitos a algum tipo de decisão por votação - não tem sentido macroeconomicamente.

Consideramos que essa relação direta entre a observação empírica da participação de fatores no produto e políticas de investimento não pode ser considerada sem que antes se estabeleça como os agentes tomam decisão quanto à inovação e assumem os custos e riscos dessa decisão. Para não ultrapassar os limites propostos pelo trabalho, não desenvolvemos uma análise específica sobre o papel das instituições nas decisões de pesquisa e no crescimento.

Apenas rejeitamos que o objetivo de políticas públicas de pesquisa estejam à mercê de um mecanismo que, quando definido de forma macroeconômica, é bastante frágil, exceto quando a direção poupadora aponta claramente no sentido não de poupar o fator escasso, mas aquele que ao longo de uma trajetória de crescimento torna-se escasso, como o caso da terra no Japão ou o trabalho nos EUA.

A própria noção de IPC indica que o papel das políticas públicas em pesquisa seja exatamente abrir o leque as oportunidades tecnológicas para além das dotações existentes e da percepção de escassez relativa dos fatores por parte dos agentes.

8.2 A Formulação Microeconômica da TII e os Modelos de Crescimento Endógeno

8.2.1 A contribuição da formulação microeconômica da TII

A necessidade do desenvolvimento de um modelo microeconômico para a TII parte da constatação de que a estrutura da economia e da pesquisa interfere na relação entre inovação e

crescimento. Não há um mecanismo geral, baseado em uma estrutura competitiva de setores, fatores e preços relativos que corrobore a hipótese da TII. Isso, como vimos, não significa que a indução não ocorra. Apenas não é o mecanismo geral que governa as decisões de inovação, os padrões tecnológicos e seus impactos na economia.

O presente trabalho, coerente com a hipótese de que a Teoria da Inovação Induzida, tem estreitos pontos de contato com as formulações das teorias de crescimento endógeno, assume de início a importância do componente probabilístico da inovação. O parâmetro de inovação (a produtividade) é tomado como constante, sendo o resultado esperado da decisão de inovar endogenamente determinado pelas decisões de gasto em pesquisa.

A diferença com os modelos neoschumpeterianos é que, ao invés de uma distribuição de probabilidade da inovação conhecida, que define um parâmetro de produtividade da inovação (permitindo tanto o exercício de estática comparativa quanto a definição de trajetórias ou simulações), esses trabalham com trajetórias definidas a partir de decisões estratégicas em ambientes de incerteza. Nessa visão, o peso da forma de organização da firma e das instituições de pesquisa (redes, por exemplo) é muito maior que a busca de eficiência pela alocação de recursos, inclusive em pesquisa. Daí a importância não só da busca local, mas da relação estreita entre a construção de formas de apropriabilidade (jurídica, de segredos, pelo desenvolvimento de forma de conhecimento tácito-específico) que, na decisão dos agentes, se torna crucial para o enfrentamento das pressões do ambiente seletivo.

Essas observações orientaram o desenvolvimento do trabalho a partir do capítulo 4: do reconhecimento da necessidade de desenvolver microfundamentos para a TII (cujo escopo é extremamente limitado, pois se reduz ao efeito sobre a redução de custos no curto prazo – deslocamento da FPI ou aproximação dela, no caso de considerarmos os custos de pesquisa) até o desenvolvimento de modelos de crescimento endógeno, passa-se por um crescente distanciamento do papel da TII.

Esse é o ponto central da tese: utilizando o mesmo instrumental dos formuladores da TII, sem recorrer aos desenvolvimentos que partem da incerteza e de rotinas derivadas de formas de racionalidade limitada ou procedural, mostrou-se como o mecanismo indutor que dá base à TII é diluído em uma série de mecanismos que se originam da estrutura e das forças econômicas que são responsáveis pelo processo inovativo e por seu impacto no crescimento.

Mostou-se que o deslocamento da FPI é afetado pela forma de estrutura da pesquisa, da forma com que se “modela” a presença de *spill overs* de unidades voltadas à geração de conhecimento amplo até aquelas que, por processos de apropriação privada e difusão, estão mais próximas da geração de impactos econômicos concernentes ao conceito schumpeteriano de inovação e, por decorrência, ao crescimento (ainda que esta relação não seja linear nos modelos que foram desenvolvidos a partir do capítulo 5).

O modelo microeconômico da TII resumido na Figura 4.2 contém os mesmos elementos básicos dos modelos apresentados nos capítulos 6 e 7, principalmente por ser a variável de controle é o gasto de P&D, que no modelo é desmembrada em modalidades para dar aderência à hipótese da TII. Como característica particular, enfatiza a existência de uma correspondência par a par entre gastos e modalidades de pesquisa. Essa ênfase, todavia, configura-se nitidamente como uma restrição a um modelo mais amplo de inovação. Um exemplo é dado pelo modelo que tem na fase II (ver 4.1.2) um ponto de vital importância na trajetória tomada a partir do deslocamento da FPI.

Os modelos têm em comum a idéia de que a inovação desloca a fronteira tecnológica. Todavia, o modelo da TII restringe de forma, no mínimo polêmica, como mostram Alston & Pardey (1999), a duração do impacto das inovações. Nos modelos “schumpeterianos” o esgotamento do efeito da inovação em um período é atribuído ao “*Arrow replacement effect*”. A diferença é que no modelo da TII tal limitação serve para justificar um ponto que é essencial na teoria: a percepção ou antecipação racional dos efeitos provenientes do gasto nas modalidades específicas de P&D. Nos modelos “schumpeterianos” essa restrição é utilizada apenas como um recurso metodológico que facilita a análise dos impactos, não sendo central na argumentação.

Outra diferença importante do ponto de vista formal, mas não do ponto de vista substantivo, está no tipo de progresso técnico que se está discutindo. Utilizando a classificação apresentada na Figura 2.1, as modalidades da TII referem-se ao progresso técnico incorporado e seu efeito está diretamente associado ao fator que está mais diretamente sofrendo o efeito da decisão de gasto em inovação.

Já nos modelos “schumpeterianos”, que foram desenvolvidos a partir do capítulo 5, o efeito da inovação é predominantemente desincorporado e as modalidades de gasto em P&D

dependem de como se configura o *mix* de fatores da atividade de pesquisa. A vinculação entre gastos de pesquisa e a natureza de seu efeito já havia sido alvo de crítica .

Uma coisa é simplificar ao máximo a estrutura de um “departamento de pesquisa”. Outra é apresentar os custos de pesquisa apenas como “restrição”, sem vinculá-los ao custo de oportunidade de utilização de um fator bastante escasso (mas reprodutível) , que é o capital humano. Mesmo assim, os resultados mostram que a restrição orçamentária (respeitados os critérios de racionalidade substantiva utilizados em todo o trabalho - maximização do valor presente esperado da contribuição dada pela pesquisa) interfere nas decisões alocativas.

Um exemplo é notável: um aumento no orçamento de pesquisa leva a que uma parte significativa seja alocada naquelas áreas negligenciadas, em que o rendimento é bastante elevado e não seguindo o efeito da indução. Por outro lado, esse exemplo mostra claramente que se trata de um problema de estática comparativa associado a deslocamentos na FPI no curto prazo, tendo pouca relevância para uma análise entre inovação e crescimento.

O resultado dessa análise microeconômica é, portanto, bastante elucidativo das limitações da TII. Voltamos ao ponto: a indução tecnológica existe e está incorporada nos critérios que definem a seleção *ex-ante* de projetos. A percepção da importância em poupar um fator escasso a partir da sua participação relativa no produto é inclusive compatível com a definição de viés que apresentamos no capítulo 3.

Todavia, cada vez menos a estrutura de pesquisa e gastos é decomponível em efeitos poupadores de fatores. Assim, o resultado é que os gastos tendem a poupar o fator escasso, mas também aquele que não o é. Coerentemente com o resultado macro, esse efeito tende a ir se diluindo, seja pela hipótese dos rendimentos decrescentes do gasto em uma modalidade específica de pesquisa, seja por seus próprios resultados: o modelo microeconômico não consegue superar as limitações já apontadas no modelo macroeconômico, apenas redefine com mais propriedade como pode ser explicada a taxa de crescimento de cada modalidade de pesquisa.

Outro ponto crítico se refere à produtividade de cada uma das modalidades. Não há razão para supor que não possam ter uma trajetória baseada na cumulatividade dos gastos em pesquisa, o que vai além de apenas supor que o efeito se dilui. Finalmente, mantém-se a crítica de que

quanto mais desagregada for a análise, mais diluído o efeito de indução, mais sua percepção está contida em um contexto mais amplo de programas de pesquisa.

Resta então “enquadrar” a TII como explicitando apenas um dos mecanismos que compõem um conjunto mais complexo fatores que afetam a tomada de decisão de inovações. Esse “enquadramento” explica o caminho seguido pelo trabalho: ao invés de entrar pela senda das especificidades da agricultura e para as facilidades do modelo em dois setores, preferimos recuperar os chamados modelos de crescimento endógeno – alguns deles autodenominados “schumpeterianos” por seus autores – desenvolvidos a partir da segunda metade dos anos oitenta.

O fato de nenhum deles mencionar a Teoria da Inovação Induzida em suas formulações dá um sabor de originalidade ao presente trabalho. O fato é que, como já explicitamos neste item, há vários pontos de contato entre as formulações e as diferenças se dão nos pontos substantivos da análise: a estrutura da economia e o papel das atividades de pesquisa como organizações e a existência de um elemento novo, que é o investimento em atividades de P&D buscando lucros de monopólio e não apenas visando reduzir custos, aumentando a eficiência produtiva do sistema.

Afastamo-nos pois da linha principal de motivação da TII, que busca envolver a racionalidade substantiva no uso de recursos para inovar com a perspectiva de superação das limitações impostas pela substituição de fatores no longo prazo ao desenvolvimento econômico.

Fizemos breves menções ao interessante trabalho de de Janvry, Fafchamps & Sadoulet (1995), mas nos afastamos de qualquer perspectiva que estabeleça uma relação entre grupos de interesse e viés ótimo por duas razões, não necessariamente complementares ou excludentes:

- a) Torna a TII uma teoria de curto prazo e sujeita a contingências determinadas pelas características locais e de certas condições iniciais, que é um dos pontos de chegada e não de partida deste trabalho. Partir da noção de “viés ótimo” segundo a conjunção de interesses políticos e de grupos de interesse para chegar a trajetórias de crescimento de longo prazo é uma tarefa hercúlea, que exige que se desenhe de forma hipotética um cenário que vai para além da economia, mas sujeito, em última instância, ao cálculo racional da economia;
- b) Reduz as instituições públicas (que no mínimo também estão sujeitas a “falhas de estado”) a executoras de sinais externos, exógenos. Isso quando se busca dar às instituições, principalmente nos setores da economia em que as corporações não

atuam diretamente, o papel de interagir com a economia e com a política em ambientes complexos, plurideterminados e sujeitos à incerteza radical. Dizer que instituições públicas servem para “cobrir” o “lag” temporal entre os sinais de mercado e as decisões induzidas é dar à economia uma importância que ela não tem, mesmo quando questões econômicas são centrais (Geopi, 2001).

Um ponto para futura investigação e que facilmente se desdobra do presente trabalho: seria correto reduzir o escopo da TII à explicação de uma situação de economia de transição, cujo desequilíbrio gerador de oportunidades de investimento e de inovação estivesse posto justamente na pressão exercida por fatores não (ou parcialmente)-reprodutíveis ao longo de uma trajetória de crescimento? Ou então, restrita a alguns tipo de dinâmica cíclica, em que a ação do mecanismo de inovação induzida levaria a algum tipo de convergência temporária, dando lugar em seguida a outro novo processo de indução, cujas condições iniciais estariam articuladas ao anterior?

Ainda que essas questões não tenham sido tratadas neste trabalho, são pertinentes e podem ser alvo de futuros desenvolvimentos. Todavia, consideramos precário dar um estatuto de teoria de inovação a um tipo de mecanismo entre outros no processo inovativo e que esteja ligado não à relação continuada entre competição e inovação, mas a pressões exógenas que se manifestam em função de uma estrutura de relações setoriais previamente delineada para que a TII ganhe sentido e importância.

8.2.2 De volta aos modelos macroeconômicos: os modelos horizontalizados e “schumpeterianos” de crescimento

Os modelos de crescimento que foram desenvolvidos a partir do capítulo 5 são basicamente de dois tipos: horizontalizados e verticalizados. Na literatura atual modelos combinados foram desenvolvidos (Howitt e Aghion, (1998) por exemplo), mas não foram tratados nesse trabalho, por uma questão de simplicidade e de ênfase posta na relação com a TII.

Os modelos horizontalizados cumpriram um duplo papel no trabalho: a) permitiram introduzir a “estrutura setorial” da economia que endogeneiza a inovação tecnológica por meio de um “departamento” produtor de inovações verticalmente acoplado a um setor produtor de bens intermediários, algo como ocorre com a indústria de sementes, por exemplo; b) mostram como a combinação de fatores está a serviço da criação de algo novo, no caso de variedade.

A combinação desses dois pontos reduz de forma significativa o uso da relação capital/produto e capital/trabalho como indicadores de resultado do processo de inovação. Ao invés da suposta preocupação distributiva, *ex-post*, com os efeitos do processo inovativo induzido pela presença de vieses, os modelos horizontalizados enfatizam a assimetria do papel dos fatores no processo inovativo.

O crescimento originado do modelo horizontalizado combina o uso do capital humano – que tem custo de oportunidade em relação a seu uso produtivo e aos processos de Learning by Doing (*LBD*) – com o crescimento populacional para gerar crescimento por meio do *spill over* associado ao efeito variedade. A vertente mais próxima aos modelos *AK* tende a enfatizar a linearidade da relação entre capital humano aplicado em pesquisa e o crescimento.

A percepção de que a ampliação do número de setores e atividades gera problemas de coordenação faz com que se leve em conta a diluição decorrente da crescente complexidade sistêmica de uma economia com rendimentos crescentes derivados das atividades de pesquisa. De resto, a existência de *trade off* entre o uso de capital humano em produção e pesquisa ao longo de uma trajetória de crescimento coloca na ampliação do capital humano o principal elemento gerador de externalidades do modelo. Uma maior produtividade da pesquisa, aqui representada pela capacidade de inovar, também tem efeito positivo no crescimento. Uma maior taxa de desconto e uma maior suavização do consumo em função de maiores rendas recebidas atuam no sentido contrário ao dos fatores inovativos.

A intensificação do capital físico não pode ser tomada como fator gerador de crescimento em uma economia na fronteira de suas possibilidades produtivas. O mecanismo de indução tecnológica pode atuar no sentido de permitir, seja aumentando a substitutibilidade de um fator escasso (não-reprodutível) por outro, seja aumentando a produtividade do fator escasso, que o mecanismo principal de criação de variedade atue.

Ainda assim, o mecanismo de criação de variedade depende, em algum grau, no longo prazo, do crescimento populacional. A discussão de sua endogeneidade sai fora do escopo desses modelos, cabendo entender em que medida é possível associar criação de variedade a crescimento apenas levando em conta a capacidade de imitação da economia e o efeito diluidor da criação de novos setores.

O modelo microeconômico da inovação induzida derivou os resultados da decisão de investir em diferentes combinações de modalidades de P&D em uma análise de um só período. Os modelos “schumpeterianos” têm vários pontos de contato com essa formulação: enfatizam o papel da inovação nos processos produtivos a partir da produtividade gerada pelo gasto intencional em pesquisa e centram a dinâmica do modelo na equação de arbitragem entre o gasto em P&D e outras aplicações dos fatores e na equação que fornece a dinâmica de crescimento dos fatores responsáveis pela geração de inovação.

No capítulo 6 desenvolveu-se não propriamente um modelo verticalizado, mas apresentaram seus elementos fundamentais e alguns efeitos relacionados à busca da inovação tecnológica. No capítulo 7 é que se buscou explicitamente desenvolver um modelo em que as relações entre fatores e o processo inovativo foram articuladas para mostrar como são complementares, o que, no fundo, corresponde a explicitar, com base na decisão endógena de gasto em pesquisa, o que já havia ficado claro no item 3.1.2, na diferenciação entre viés Hicksiano e Harrodiano.

O modelo verticalizado assume explicitamente que a busca de lucro de monopólio pela inovação gera a intensificação de capital. Esse efeito é um componente importante da possibilidade de crescimento balanceado ou de obtenção de equilíbrio no estado estacionário. Todavia, as equações básicas do modelo e sua dinâmica não dependem do pressuposto de crescimento balanceado.

Os efeitos associados ao modelo verticalizado têm origem na “forma de escada” do avanço da economia, que permite estabelecer a relação entre a taxa de crescimento do produto e o efeito das inovações. O esforço inovativo é centrado em um “departamento produtor de inovações”, competitivo, sujeito a rendimentos decrescentes, como no modelo apresentado em 7.1.

Como antes, o setor produtor de bens intermediários é que se apropria dos sobrelucros, engendrando algum tipo de competição imperfeita. A utilização de um modelo *naïve* como o de Bertrand visa apenas a simplificar a discussão. A suposição de um “*replacement effect*” não é obrigatória, mas tem uma função de destaque.

Ele tira do modelo um elemento presente nos modelos “neoschumpeterianos”, que é a possibilidade de que o sucesso inovativo se torne cumulativo. O problema desse pressuposto

simplificador é menos o de relacionar inovação com direito de propriedade (ver Aghion, Dewatripoint e Rey (1997) para a relação de inovação com custo de agência). Isso é praticamente irrelevante em uma discussão de longo prazo.

A limitação imposta pelo pressuposto simplificador é perder um importante elemento para a explicação realista para o crescimento das corporações setorialmente especializadas e que foram responsáveis por inovações/imitações de sucesso ao longo do século vinte (na química, petroquímica, telecomunicações, informática, farmacêutica): a cumulatividade, que está intimamente relacionada às estratégias competitivas dinâmicas associadas à caracterização do processo competitivo.

Nesse caso não se trata de considerar situações de transição, como por exemplo ocorreria no caso de uma economia em desenvolvimento com elevada participação do trabalho alocado na agricultura no total de ocupações. Trata-se de um elemento que afeta intrinsecamente a decisão de inovar, restringe drasticamente o efeito de “*spill over*” para além do que seria esperado pelo modelo “schumpeteriano” e favorece o aparecimento de fenômenos de *path dependence* com consequências ainda mais drásticas para a TII, uma vez que a decisão de alocar recursos em modalidades poupadoras ficaria restrito não apenas pelo orçamento, como em 4.2, mas também pela “localização da inovação”.

O “álibi” para tolerar essa restrição é que ela aprofunda a crítica à TII. Assumindo a proposição feita no item 3.3 de que a inovação localizada é compatível com o mecanismo de indução quando a elasticidade de substituição é menor que 1, diríamos que uma trajetória específica, com *path dependence*, seria beneficiada por um esforço poupador “localizado”.

O traço característico do modelo “schumpeteriano”, que o aproxima dos modelos pioneiros “neoschumpeterianos”, é que a inovação engendra uma dinâmica competitiva mais ampla que o simples ganho de sobrelucros temporários por efeito preço ou qualidade. Essa dinâmica pode caracterizar um modelo inovador-imitador ou um modelo em que a chamada destruição criadora se manifesta na expulsão de empresas cuja inovação é superada.

De qualquer forma, o papel da destruição criadora é central quando se tem em mente a discussão inicial que fizemos sobre o modelo S-S e o resíduo tecnológico. Não só a inovação é endógena pelo cálculo endógeno do valor presente de inovação *vis-à-vis* o seu custo (equação de arbitragem), mas também por seu efeito sobre o estoque de capital.

Gera-se assim uma diferença entre o cálculo privado e social (compatível com as hipóteses de racionalidade do modelo e da estilização da economia utilizada em todo o trabalho). Essa diferença de percepção estaria associada a alguns efeitos virtuais: a percepção privada de que o período de duração de sobrelucros será interrompido pelo processo de competição reduz o esforço privado com a inovação. Isso rouba da sociedade uma parte do “*spill over*” total que existiria caso o representante do interesse social fosse responsável pela decisão de inovar.

Há pois um balanço no efeito da inovação, que se espera favorável ao crescimento: os agentes privados se apropriam do resultado da inovação e por isso são estimulados a inovar (efeito de apropriação); ao serem confrontados com variáveis macroeconômicas (que em alguma medida são endógenas ao longo de uma trajetória de otimização da utilidade agregada ou seguem algum critério de programação dinâmica, por exemplo, da equação de Bellman); os agentes podem, ao perceber que a destruição criadora atua sobre seus rendimentos futuros, decidir gastos em inovação menores que aqueles que o programador central decidiria observando o efeito de transbordamento dos gastos de pesquisa.

Esses efeitos, referidos à produtividade da pesquisa, sobrepõem-se em importância à decisão poupadora de um fator escasso. O papel da escassez relativa dos fatores depende de dois elementos: a importância de cada fator nas atividades de pesquisa e as limitações impostas pelo crescimento à utilização de capital produtivo, humano e trabalho nos diferentes setores produtivos.

Restou discutir o que ocorre em uma economia multissetorial. Ao introduzir vários setores duas questões apareceram: a) como se distribui o efeito de transbordamento nos diferentes setores; b) como se dá a competição interssetorial por um fator que se torna escasso pelo próprio efeito da inovação, o chamado efeito *Crowding Out*.

O primeiro ponto é tratado de forma a evitar a separação entre o parâmetro que define a produtividade de pesquisa e a decisão de gasto em P&D. Essa separabilidade está relacionada ao pressuposto de que a inovação é setorial, mas dada a existência de um *continuum* de bens intermediários, a distribuição é uniforme e invariante no tempo. Trata-se de uma suposição simplificadora que está sendo abandonada em muitos trabalhos recentes. No capítulo 6 discutiu-se a possibilidade de endogeneizar o tamanho da inovação (ou seja, a medida de seu impacto,

uma vez que ela atinja um determinado setor), mas a distribuição de probabilidade é suposta constante no tempo.

O modelo adotado é do tipo “*band wagon*”, ou seja, a cada inovação que se instala, a fronteira se desloca e a com isso a distância dos setores “*lagged behind*”. Isso poderia gerar uma situação em que setores sistematicamente seriam deixados de lado e não conseguiriam mais acompanhar o deslocamento da fronteira. Em função da hipótese radical de deslocamento do incumbente pelo inovador, o problema se reduz à constatação que se evita, novamente, o aparecimento de fenômenos de *path dependence*.

Aqui a comparação com a formulação microeconômica do modelo da TII parece ser desfavorável. A Teoria da Inovação Induzida pressupõe que o inovador conheça efetivamente o efeito principal da modalidade de inovação que ele escolhe. Nos modelos “schumpeterianos” a inovação resultante do conhecimento comum, ou seja, inicialmente desincorporada, corporifica-se em um determinado setor com uma probabilidade modelada segundo a decisão de gasto em pesquisa – pode ser em trabalho, capital humano ou capital físico ou uma combinação destes, dependendo da ênfase.

Duas observações antes de apresentar os resultados referentes ao capítulo 7:

a) A existência do efeito C.O. resultou em uma crítica à TII que Dall’Acqua (1983) já havia apresentado com base na discussão da fronteira salário/lucros: é pouco provável que, em uma dinâmica entre setores, um setor seja funcionalmente induzido pelas necessidades inovadoras de outro sem que isto resulte na alteração dos parâmetros que dão base a esta relação. Se a agricultura é o setor de bens finais e o conjunto de setores produtores de bens intermediários o setor inovador, a presença de efeito C.O. deve ocorrer entre eles, introduzindo alterações significativas na relação entre eles. A competição por recursos também se dá entre o setor de bens finais e o setor de bens intermediários;

b) O efeito da inovação sobre o crescimento altera os parâmetros em que a decisão de inovação é tomada, ou seja, a taxa de crescimento do produto interfere nas decisões de gasto de inovação. Essa dinâmica de interação torna extremamente complexa a antecipação de efeitos de distintas modalidades de inovação. O agente inovador utilizaria um composto que representasse o mix a ser escolhido ex-ante ou adotaria um determinado tipo de inovação poupadora por melhor se adequar a sua rotina de investigação.

O capítulo 7 utiliza todos os elementos que foram desenvolvidos nos capítulos anteriores do trabalho, obviamente com maior peso do capítulo anterior.

Inicialmente buscou-se formular um modelo geral que superasse as limitações impostas pelo uso de funções de produção específicas, ainda que a Cobb-Douglas represente adequadamente a dinâmica de longo prazo. O trabalho apresenta um modelo de crescimento de longo prazo em que a inovação cumpre um papel central ao incorporar os efeitos que mencionamos anteriormente, principalmente o efeito da destruição criadora.

O principal resultado obtido foi mostrar como o impacto da inovação interfere indiretamente nas condições de avaliação dos gastos em P&D, pela via das variáveis macroeconômicas. Mostrou-se que sendo o gasto em P&D função da taxa de crescimento da economia no estado estacionário e do valor presente da inovação (que é positivamente influenciado pelo crescimento e pelos parâmetros macroeconômicos), pode ocorrer que nem sempre uma maior taxa de crescimento seja responsável por um maior gasto em P&D. Basta que haja uma elevada sensibilidade do valor esperado da inovação em relação à taxa de crescimento.

A idéia de uma relação endógena entre taxa de crescimento e gastos com inovação torna o problema de decisão dos gastos em inovar mais complexo do que um problema de “redução de custos restrito por um orçamento”. Ainda assim, pode-se argumentar que a decisão microeconômica de selecionar os elementos de um programa de inovação pode ser considerada até certo ponto exógena a esse problema.

O trabalho finaliza buscando mostrar que existe complementaridade entre acumulação de capital e gastos com inovação: subsídio ao capital, por exemplo, interfere no impacto da inovação por interferir nos custos da pesquisa. Aqui novamente distinguiu-se a intensificação de capital, que é tratada no modelo S-S como independente do esforço de inovação, e a acumulação de capital que cria escala para investimento em P&D (ainda que essa relação não seja trivial e passe pela relação entre organização da pesquisa, corporações e estado).

Os resultados obtidos mostram que:

- a) Um maior gasto em pesquisa pressiona a taxa de juros e reduz o capital aplicado;
- b) Uma maior intensidade de capital aumenta os lucros e com isso as decisões de investimento em pesquisa;

c) O subsídio ao capital desloca a curva de capital para a direita, com efeito positivo sobre o equilíbrio do estado estacionário;

d) A taxa de crescimento do estado estacionário depende basicamente dos parâmetros relacionados à produtividade da pesquisa, de seu efeito de transbordamento e das decisões de gasto em pesquisa, que por seu turno depende da equação de arbitragem.

e) O resultado obtido também mostrou um maior volume de recursos é destinado ao P&D quando o capital (deflacionado pela produtividade) aumenta.

Resumindo, os gastos em P&D aumentam com o aumento do fluxo de capital, pois este tem efeito sobre os lucros. Dentro da perspectiva de equilíbrio que está na base desse tipo de modelo “schumpeteriano”, o maior uso do capital tem um efeito redutor sobre a taxa de juros do sistema, reduzindo o fator de desconto sobre os lucros recebidos. É fundamental perceber que gastos em P&D passaram a ser afetados pelas variáveis que afetam seu preço, ao contrário do trabalho, que no modelo apresenta oferta inelástica .

A consideração do capital humano sujeito a decisões econômicas atenua a relação entre os recursos aplicados em P&D e a acumulação de capital e conseqüentemente o efeito benéfico do subsídio ao capital e à pesquisa no crescimento de longo prazo, mas não altera o resultado apresentado acima.

A razão é clara: se trabalho for um único fator utilizado em P&D, um uso mais intenso de capital corresponde ao aumento do salário de eficiência que, então, age no sentido contrário ao efeito da intensificação de capital no lucro do monopolista. Espera-se que casos intermediários (em que ocorra um *mix* entre capital e trabalho aplicado em atividade de P&D) mantenham as características – ainda que atenuadas - do sistema “puro”.

O ponto fundamental para a crítica da TII está na percepção da importância das características do setor de pesquisa, de suas características como atividade econômica, que suplanta em termos de efeitos sobre o crescimento o papel das modalidades de inovação que discutimos em 4.2.

Finalmente, cabe uma breve discussão sobre o desenvolvimento de modelos fora do estado estacionário. A equação de arbitragem, que é central em nossa análise, é válida fora do estado estacionário, como vimos, mas as relações que estabelecemos podem não ocorrer no curto

prazo, ao contrário, em situações de transição podem ser opostas ao esperado. Por exemplo, um gasto em P&D que afete os recursos destinados a *LBD* pode ter um efeito de redução do crescimento no curto prazo. O mesmo ocorreria quando a decisão de inovar levasse uma economia a utilizar o capital de forma mais intensa.

Podemos então resumir a contribuição do modelo apresentado em 7.2. Ele enfatiza a composição da pesquisa e sua relação com as variáveis que definem trajetórias macroeconômicas de acumulação de capital e consumo. Supera-se assim a dicotomia presente, por exemplo, no trabalho de Stern (1996) entre os modelos de crescimento endógeno (em suas versões *AK*) e a *TII*.

A decisão de investir em P&D não está apenas relacionada com seu impacto sobre o setor em que se aplica, mas é afetada pelas características do setor de pesquisa e dos efeitos do crescimento sobre as variáveis econômicas. Um setor de pesquisa com elevada intensidade de capital em sua composição pode se beneficiar do próprio efeito do crescimento gerado pela inovação sobre a acumulação de capital. A maior importância do capital humano e do trabalho reduz esse efeito, mas só no caso extremo em que a pesquisa é totalmente dependente do capital humano poderia tornar inócua as políticas de incentivo à pesquisa e à acumulação de capital.

Nesse sentido, a própria idéia de que a decisão descentralizada de investir em modalidades poupadoras do fator escasso levaria a uma correção de um viés induzido pelo governo (por exemplo, subsidiando capital) e pior ainda, a idéia de que possa existir na análise de crescimento de longo prazo, algo como um “viés ótimo”, decidido institucionalmente, desconsideram os determinantes para o gasto em P&D que enfatizamos a partir dos modelos apresentados, que, ainda que não representem uma economia real, dão indicações substantivas de que no mundo real a *TII* é um caso particular, cujo efeito está condicionado a um conjunto maior de efeitos que tratamos nos dois últimos capítulos deste trabalho.

Pode-se transcender os limites desse trabalho com as seguintes observações:

- a) Apesar da proximidade das teorias de crescimento endógeno com a *TII*, elas não pretendem dar uma explicação geral para a relação entre crescimento e inovação. Assim como nos modelos “neoschumpeterianos” a ênfase dos modelos de crescimento endógeno são postas em fornecer elementos teóricos para simulação de efeitos que possam dar indicações de políticas;

- b) A ênfase na competição e principalmente na busca de sobrelucros com a inovação, a presença de efeitos contraditórios relacionados à inovação e a importância das variáveis macroeconômicas, dos custos e da organização da pesquisa são elementos que apontam para uma convergência entre modelos “schumpeterianos” e “neoschumpeterianos”, a despeito das acentuadas diferenças entre pressupostos.
- c) A Teoria da Inovação Induzida tem pouca importância nesse contexto, reduzida a uma teoria localizada e presente apenas quando certos fenômenos favorecem o mecanismo de substituição de fatores escassos;
- d) Nesta tese não foram discutidas questões relacionadas a saltos tecnológicos e inovações radicais.

Bibliografia

- Aghion, P., Dewatripont, M. & Rey, P. (1997). "Agency Costs, Firm Behavior and the Nature of Competition". University College, London, mimeo. Também acessível em papers.ssrn.com., CEPR Working Paper, n^o2130.
- Aghion, P. & Howitt, P. (1998). "Endogenous Growth Theory". MIT Press, Cambridge, MA, 1a.ed., 694p.
- _____. (1996). "The Observational Implications of Schumpeterian Growth Theory". *Physic-Verlag, Empirical Economics*, vol.21, p.13-25.
- _____. (1992). "A Model of Growth through Creative Destruction". *Econometrica* 60, p.323-51.
- Aghion, P. e Tirole, J. (1994). "Formal and Real Authority in Organizations". Unpublished manuscript, Institut d'Economie Industrielle.
- Ahmad, S. (1966). "On The Theory of Induced Inovation". *Economic Journal*, vol. 76, 2, p.344-57.
- Almeida, M. M. (1996). "Aprendizado Informal em Modelos de Crescimento Econômico". Campinas, UNICAMP. Monografia, mimeo., 94p.
- Alston, J. & Pardey, P. (1999) "The Economics of Agricultural R&D Policy". in Alston, P.; Pardey, P. & Smith, V. (1999). "Paying ofr Agricultural Productivity". Washington, D.C., IFPRI, 1a.ed., p. 6-31.
- Antle, J M., & Capalbo, S. M. (1988). "An Introduction to Recent Developments. in Production Theory and Productivity Measurement". in Capalbo, S & Antle, J.(eds.) "Agricultural Productivity". Washington, D.C., Resources for the Future, p.15-96.
- Aoki, M. (1996). "New Aproaches to Macroeconomic Modeling". Cambridge University Press, New York, 1a ed., 288p.
- Arcangeli, F. & Canuto, O. (1996). "Foundations of New Growth Models: technology and Schumpeterian heritage". *Anais do XXIV Encontro Nacional da ANPEC, Águas de Lindóia, dezembro*, vol 3, p.515-35.
- Arrow, K.(1962). "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention". re-impreso em Rosemberg , N. (ed.) (1971) "The Economics of Technological Change".Middlesex, U.K, Penguin Modern Economics Readings, p.164-182.
- Assunção, J.J. (1997). "Desenvolvimento Agrícola Brasileiro: uma análise regional". Dissertação de Mestrado apresentada à UFMG -Cedeplar, mimeo,110p.

- Atkinson, A. B. & Stiglitz, J. (1969). "A New View of Technological Change". *Economic Journal*, vol.LXXIX, nº 315.
- Audretsch, D & Stephan, P. (1999). "Knowledge Spillovers in Biotechnology: sources and incentives". Springer, *Journal of Evolutionary Economics* vol. 9, 1, p.97-108.
- Bardhan, P & Udry, C. (1999). "Development Microeconomics". Oxford University Press, 1ª ed., 242 p.
- Barro, R.e Sala-I-Martin, X. (1995). "Economic Growth". New York. McGraw-Hill, Inc., 1a.ed., 539p.
- Beckford, G. L. (1972). "Strategies for Agricultural Development: comments". *Food Institute Studies*, p.149-154
- Benassy, J-P (1997). "Is There Always Too Little Research in Endogenous Growth with Expanding Product Variety?". *European Economic Review* 42, 1, p.61-69.
- Binswanger, H.P.(1978)."Issues in Modeling Induced Technical Change", in Binswanger, H.P. & Ruttan, V.W., "Induced Innovation". Baltimore, Md., The Johns Hopkins University Press, p.13-43.
- _____, H.P.(1974a). "A Microeconomic Approach to Induced Innovation", *The Economic Journal*, vol. 84 (1: 940-970).
- _____, H.P. (1974b). "The Measurement of Technical Change Biases with Many Factors of Production". *The American Economic Review*, vol. 64, 6 , p.964-976.
- Binswanger, H.P. e Deininger, K. (1997). "Explaining Agricultural and Agrarian Policies in Developing Countries". *Journal of Economic Literature*, vol.35, 4, p.1958-2005.
- Bonacelli, M.B e Salles-Filho,S.L.M. (1998). "Empresas especializadas e Redes de Inovação em Desenvolvimento da Moderna Biotecnologia". ESOCITE 98, Querétaro, México, mimeo, 25p.
- Bonelli, R. e Pessôa, E.(1998). "O Papel do Estado na Pesquisa Agrícola no Brasil". *Texto para Discussão nº 576*, IPEA, Rio de Janeiro, 40p.
- Caballero, R.J. & Hammour, M.L. (1996). "On the Timing and Efficiency of Creative Destruction". *Quarterly Journal of Economics*, vol.111, p.805-52.
- Cabellero, R.J. & Jaffe, A. (1993). "How Giants are the Giants Shoulders?". *NBER Macroeconomics Annual*, p.15-75.
- Cantner, U. e Pyka, A. (1997). "Technological Heterogeneity and Its Influence on Rate and Direction of Technological Progress". Augsburg, University of Augsburg, mimeo,11p.
- Canuto, O. (1998). "Padrões de Especialização, Hiatos Tecnológicos e Crescimento com Restrição de Divisas". *Revista de Economia Política*, jul-set.

- Capalbo, S.M. & Antle, J.M. (1988). "Agricultural Productivity Measurement and Explanation". in Capalbo, S & Antle, J.(eds.) "Agricultural Productivity". Washington, D.C., Resources for the Future Washington Resources, 404 p.
- Chavas, J., Aliber, A. e Cox, T.L. (1997). "Analysis of the Source and Nature of Technical Change: The Cause of U.S. Agriculture". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 79, 3, p.482-501.
- Chiang, A. (1992). "Elements of Dynamic Optimization". New York. McGraw-Hill, Inc, 1a.ed., 327p.
- Chiaromonte, F & Dosi, G. (1993). "The Microfoundations of Competitiveness and Their Macroeconomic Implications". in Freeman, C. & Foray, D. (orgs). "Technology and the Wealth of Nations". London., Pinter, 1a.ed.
- Cohen, W.M. & Levinthal, D. (1989). "Innovation and Learning: The Faces of R&D". *The Economic Journal*, vol 99, p.569-596.
- Dall'Acqua, F. M. (1983). "O Problema da Agregação de Capital: uma Crítica ao Modelo de Inovações Induzidas de Hayami e Ruttan", *Pesquisa e Planejamento Econômico*, vol. 13, 3, p.921-944.
- David, P. A.& Hall, B. (1999). "Heart of Darkness: public-private interactions inside the R&D black box". Oxford, Nuffield College, Economics Discussion Paper n ° 1999,W-16, mimeo, 24p.
- David, P. A., Hall, B & O'Toole, A. (1999). "Is Public R&D a Complement or Substitute for Private R&D? A Review of The Econometric Evidence". Berkeley, University of California at Berkeley, Working paper., mimeo, 60p.
- David, P. A. (1975). "Technical Choice Innovation and Economic Growth". Cambridge, MA , Cambridge University Press, 116 p.
- de Janvry, A., Fafchamps, M. & Sadoulet, E. (1995). "Transaction Costs, Public Choice, and Induced Technological Innovation". in Köppel, B. "Induced Innovation Theory and International Agricultural Development". Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1a.ed., p.151-169.
- de Janvry, A. (1985). "Inducement of Technological and Institutional Innovations: an interpretative framework". in Arndt, D. and Ruttan, V. (eds). "Resource Allocation and Productivity". Mineapolis, University of Minnesota Press, p551 -563.
- Dandrakis, E. M. e Phelps, E. S. (1966). "A Model of Induced Invention, Growth and Distribution". *Economic Journal* , vol 76, p. 823-40
- Diewert, W.E. & Walles, T.J. (1988). "Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions". *Econometrica*, vol.37. p.327-42.

- Diewert, W.E. (1971). "An application of Shepard Duality Theorem". *Journal of Political Economy*, vol. 79, 3, p.481-505.
- Dixit, A & Stiglitz, J. (1977) "Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity". *American Economic Review*, vol. 67, 3, p.297-308.
- Domar, E. (1946). "Capital Expansion and Employment". *American Economic Review*, vol 37, 1, p.34-55.
- Dosi, G. (1995). "The Contribution of Economic Theory to the Understanding of a Knowledge – Based Economy". IIASA Working Papers nº 56, Laxenburg, Austria.
- _____(1988) "Sources and Procedures and Microeconomic Effects of Innovation". *Journal of Economic Literature*, Vol XXVI, p.1120-1171.
- Dosi, G. & Egidi, M. (1991). "Substantive and Procedural Uncertainty: an exploration of economic behaviors in changing environments". *Journal of Evolutionary Economics*, Springer Verlag, vol.1. abril.
- Easterly, W. & Levine, R. (2001). "It's Not Factor Accumulation: Stylized Facts and Growth Models". *Oxford, The World Bank Economic Review*, vol 15, p.177-219.
- Evenson, R. (1998). "Plant Breeding: a case of induced innovation". in Evenson, R. Golin, D. & Santaniello, V. (eds.) "Agricultural Values of Plant Genetic Resources". Roma, FAO/Cabi Pb, p. 29-42.
- _____, R. (1988). "Research, Extension and U.S. Agricultural Productivity: a statistical decomposition analysis". in Capalbo,S. & Antle, J.M.. (eds) "Agricultural Productivity: measurement and explanation". Washington, D.C., Resources for the Future. p.289-315.
- Evenson, R. & Kislev, Y. (1975). "Agricultural Research and Productivity". New Heaven, Yale University.
- Fare, R., Grosskopf, S. & Knox Lovell, C. A. (1994). "Production Frontiers". Cambridge University Press, 296p.
- Farina, E., Azevedo, P.F. & Saes, M.S. (1997) "Competividade: mercado, estado e organizações". São Paulo, Fapesp-Ed.Singular, Pensa., 1a. ed., 286p.
- Fellner, W. (1971). "Empirical Support for the Theory of Induced Innovations", *Quarterly Journal of Economics* 85, p.1-16.
- Fonseca, M.G. & Silveira, J.M.F.J. da .(2001). "Brazilian Biotechnology Development: challenges and opportunities opened by the emergence of knowledge building- blocks". *European Meeting on Applied Evolutionary Economics - EMAEE*, 13-15th, September, Vienna, Austria, mimeo, 25p.

- Frankel, M.(1962). "The Production Function in Allocation and Growth: a synthesis". American Economic Review, vol. 52, p.995-1022.
- Fisher, F. & Shell, K. (1998). "Economic Analysis of Production Price Indexes". Cambridge, Cambridge University Press. 1a. ed., 226p.
- Geopi (2000). "Políticas Públicas para a Inovação Tecnológica na Agricultura do Estado de São Paulo: métodos para avaliação dos impactos de pesquisa". São Paulo, Projeto para o Programa de Pesquisa da FAPESP: Políticas Públicas, 2a. fase. coord. Sergio Salles-Filho. mimeo, 105 p.
- Ghemawat, P. & Nalebuff, B. (1985). "Exit". Rand Journal of Economics, vol 16, p.184-194.
- Gilchrist, S. & Williams, J.C. (1998). "Putty-clay and Investment: a business cycle analysis". Nation Bureau of Economic Research, Inc., Working Series- Working paper n^o6812.
- Gomulka, S. (1990). "The Theory of Technological Change and Economic Growth". London and New York, Routledge, 1a. ed, 262p.
- Grabowski, R. (1988). "The Theory of Induced Institutional Innovation: a critique". World Development, vol. 16, 3, p.385-394.
- Greene, W.G. (1993). "Econometric Analysis". New Jersey, Prentice Hall, 4^a ed., 791p.
- Grossman, G.M. & Helpman, E. (1991). "Innovation and Growth in the Global Economy". Cambridge, MA, MIT Press, 359 p.
- Harberger, A. (1998). "A Vision of The Growth Process". The American Economic Review, March, p.1-32.
- Harrod, R. (1948). "Towards a Dynamic Economics". London, MacMillan.
- Harvey, A.C. (1993). "Time Series Models". Hertfordshire, Harvester Wheatsheaf, 2^a ed., 292p.
- Hayami, Y. (1998) "Development Economics". Oxford, Claredon Press, Paperback, 1^a ed.,316p..
- Hayami, Y. & Ruttan, V. (1985). "Agricultural Development: an international perspective". Londres, Johns Hopkins University Press. 2a.ed.,534p.
- Heller, C. (2000). "Oligopólio e Progresso Técnico no Pensamento de Joan Robinson". São Paulo, FAPESP-ed.Hucitec, 1a.ed., 455p.
- Hendry, D. (1995). "Dinamic Econometrics". Oxford, Oxford University Press, 869p.
- Hicks, J. (1932). "The Theory of Wages". London, MacMillan, 125p.
- Higachi, H. (1998). "Teorias do Crescimento Endógeno: evolucionistas-schumpeterianos e neoclássicos-schumpeterianos". Tese de Doutorado apresentada ao IE - UNICAMP, mimeo, 150 p.

- Howitt, P. (1999). "Steady Endogenous Growth with Population and R&D Inputs Growing". *Journal of Political Economy*, vol. 107, 4, p.715 – 730.
- _____, P. (1997). "Capital Accumulation and Innovation in Endogenous Growth: confronting the facts". The Ohio State University and CIAR, 49p.
- Howitt, P & Aghion, P. (1998). "Capital Accumulation and Innovation as Complementary Factors in Long-Run Growth". *Journal of Economic Growth*, vol 3, p.111-130.
- Hubbard, M. (1997). "The 'New Institutional Economics' in Agricultural Development: insights and challenges". *Journal of Agricultural Economics*, vol. 48, 2, p239 -249.
- Inada, K. (1963). "On a Two- Sector Model of Economic Growth: comments and a generalization". *Review of Economic Studies*, vol.30, p.119-127
- Johansen, L. (1959). "Substitution versus Fixed Production Coefficients in the Theory of Economic Growth". *Econometrica*, vol. 27, p.157-176.
- Jones, C.I. (1995a). "Time Series Tests of Endogenous Growth Models". *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, p.495-595.
- _____, C. I. (1995 b). "R&D – Based Models of Economic Growth". *Journal of Political Economy*, vol.103, 4, p.759 -785.
- Jorgenson, D. & Griliches, Z. (1967). "The Explanation of Productivity Growth", *Review of Economic Studies*, vol. 34, p.249-83.
- Jorgenson, D.(1996). "The Embodiment Hypothesis". *Journal of Political Economy*, vol 64, 2, p.1-17.
- Kamien, M. I. e Schwarz, N. L. (1991). "Dynamic Optimization". New York, Elsevier, 2a.ed., 149p.
- Kawagoe, T; Otsuka, K & Hayami, Y. (1986) "Induced Bias of Technical Change in Agriculture: The United States and Japan- 1880-1980". *Journal of Political Economic*, vol 94, 31 p.523-544.
- Kennedy, C. (1973). "A Generalization of the Theory of Induced Bias in Technical Progress". *Economic Journal*, vol. 83.
- _____, C. (1964). "Induced Bias in Innovation and the Theory of Distribution". *Economic Journal*, September.
- Kline S. & Rosenberg, N. (1986). "An Overview of Innovation". in Landau, R. & Rosenberg, N. (eds.). "The positive Sum Strategy". Washington, National Academy Press, p.275-305.
- Köppel, B.(1995). "Why a Reassessment?" in Köppel, B.. "Induced Innovation Theory and International Agricultural Development". Baltimore, The Johns Hopkins University Press, p. 3-22.

- Lipsey, R.G.(1999). "Some Implications of Endogenous Technological Change for Technology Policies in Developing Countries". International Workshop: "The Political Economy of Technology in Developing Countries". Brighton, vol 1, p. 4-30.
- Lordon, F. (1995). "Cycles et Chaos dans un Modèle Hétérodoxe de Croissance Endogène". *Revue Economique* vol.46, 6, p.1405-1444.
- Lucas, R. (1993), "Making a Miracle". *Econometrica*, 61, p.251-272.
- _____, R. (1988) "On the Mechanics of Economic Development". *Journal of Monetary Economics*. vol. 22, p.3-42.
- Marengo, L & Willanger, M. (1997). "Alternative Methodologies for Modelling Evolutionary Dynamics". *Journal of Evolutionary Economics*, vol 7, p.3-38.
- Mas-Collel, A. Whinston, M. & Green, J. (1995). "Microeconomic Theory". Oxford, Oxford University Press, 1a.ed., 981 p.
- Mattana, P. (1997). "Evaluating Old and New Growth Theories: an inquiry into Italy' s growth process by means of time series informative sets". *RISEC*, vol. 44, 3. p.577-599.
- McFadden, D. (1978). "Production Economics: a dual approach to theory and applications". in Fuss, M. and McFadden, D. (eds). "Production Theories". Amsterdam, North Holland, vol.1, chapterIV.1.
- Metcalfe, J.S. (1998). "Evolutionary Economics and Creative Destruction". New York, Routledge, 1a, ed., 153p.
- _____, J.S. (1997). "An Evolutionary Explanation of Total Factor Productivity Growth". *Revue d'Economie Industrielle*, vol 80, p.93-114
- Milgrom, P. & Roberts, J. (1992). "Economics, Organization and Management". Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall International. 1a. ed.
- Mittelhammer, R. (1996). "Mathematical Statistics for Economists and Business". New York. Springer-Verlag, 1a.ed.,723p.
- Mundlak, Y (2000). "Agriculture and Economic Growth". Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1a.ed., 479p.
- Nelson, R.R. (1998). "The Agenda for Growth Theory: a different point of view". *Cambridge Journal of Economics*, vol 22, p.497-520.
- Nelson, R.R. e Winter, S.G.(1982). "An Evolutionary Theory of Economic Change". Cambridge, Belknap Press, 1aed., 437p.
- Nightingale, P (1999) "Scientific Knowledge and the Dynamics of the Pharmaceutical Innovation Process". CoPS Innovation Centre, SPRU, University of Sussex, Working papers, mimeo, 37p.

- Olmstead, A. L. & Rhode, P. (1993). "Induced Innovation in American Agriculture: a reconsideration". *Journal of Political Economy*, vol.101, 1, p100 -118.
- Oreiro, J.L (1999). "Progresso Tecnológico, Crescimento Econômico e as Diferenças Internacionais nas Taxas de Crescimento da Renda *per capita*". *Economia e Sociedade*, IE-Unicamp, vol. 12.
- Ostaszewsky, A. (1993). "Mathematics in Economics: models and methods". Oxford, Blackwell, 1a.ed., 508 p.
- Paiva, R.M. (1971) "Modernização e Dualismo Tecnológico na Agricultura", *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro v.1.n2.
- Palivos, T., Wang, P & Zhang, J. (1997). "On the Existence of Balanced Growth Equilibrium". *International Economic Review*, vol.38, 1, p.201-225.
- Peeters, L & Surry, Y. (1997) "Measuring Induced Innovation Using a Cost-Function Framework". Rennes, INRA., mimeo, 33p.(versão original apresentada na 13a Journées de Microéconomie Appliquée, Université de Liège , 6-7 june, 1996).
- Phelps, E. (1966). "Models of Technical Progress and the Golden Rule of Research". *Review of Economic Studies*, vol.33, p.133-145.
- Possas, M. (1995) "A Cheia do *Mainstream*". R.J, Texto para Discussão IE/UFRJ, n.327.
- Possas, M, Salles-Filho, S.L.M & Silveira, J.M.F.J. da (1996). "An Evolutionary Approach of Innovation Process in Agriculture". *Research Policy*, vol.25, p.933-945.
- Possas, M.*et alii*(2001). "Um modelo Evolucionário Setorial". *Revista Brasileira de Economia*, vol 55, 3, p.333-379.
- Reddaway, W. B., Champernowne, D. G. e Deane, P. (1974). "A Microeconomic Approach to Induced Inovation". *The Economic Journal*, vol. 84.
- Romer, P.(1990a) "Endogenous Growth Theory". *Journal of Political Economy*, vol. 98, p.71-102.
- _____, P (1990b). "Capital, Labor and Productivity". Washington, D.C, *Brookings Papers on Economic Activity*. : microeconomics, p.337-367.
- _____, P. (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth".*Journal of Political Economy*, vol.94, 3, p.1002 -1037.
- Romeiro, A. & Salles-Filho, S.L.M. (1999). "Dinâmica de Inovação sob Restrição Ambiental". in Romeiro, A. *et alii* "Economia do Meio Ambiente: teoria , políticas e a gestão de espaços regionais". Campinas, Oficinas Gráficas da Unicamp, 2 ed. , p.85-124.
- Romeiro, A. & Silveira, J.M.F.J da (1997). "A Teoria da Regulação e o Enfoque Setorial". *Estudos Econômicos*, vol 27, 3, p.461-481.

- Rondé, P.(1992) “Progres Technique et Strategie de Firmes”. Strasbourg, These de Doctorat de Sciences Economiques. ULP, mimeo., 530p.
- Ruiz, A.O.(1999). “Inovações Organizacionais e Inovações Tecnológicas”. Tese de Doutorado apresentada ao IE/Unicamp, mimeo., 114p.
- Ruttan, V. (1996). “Induced Innovation and Path Dependence”. *Technological Forecast and Social Change*, vol. 53, p.41-59
- Ruttan, V. & Hayami Y. (1995). “Induced Innovation Theory and Agricultural Development: a reassessment”. in Köppel, B.(ed.).”Induced Innovation Theory and International Agricultural Development”. Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1a.ed, p169-189.
- _____ (1984). “Toward a Theory of Induced Institutional Inovation”. *Journal of Development Studies*, vol 20, p.203-23.
- Rymes, T. K. (1973). “The Measurement of Capital and Total Factor Productivity in the Context of the Cambridge Theory of Capital”. *Review of Income and Wealth*, vol.18, 1, p.79-108.
- Sadoulet, E. & de Janvry, A (1995). “Quantitative Development Analysis”. Baltimore, The Johns Hopkins University Press.,1a.ed., 482p.
- Sala-I-Martin (1996). “Regional Cohesion: Evidence and Theories of Regional Growth and Convergence”, *European Economic Review*, vol 40, 6, p.1325-1352.
- Salles-Filho, S.L.M.(1993). “A Dinâmica Tecnológica da Agricultura: Perspectivas da Biotecnologia”. Tese de Doutorado apresentado ao IE/ UNICAMP, 261 p.
- Salter, W. E. G. (1966). “Productivity and Technical Chance”. Cambridge, Cambridge University Press, 2 ed.
- Samuelson, P. A. (1965). “A Theory of Induced Innovation along Kennedy-Weizsäcker Lines”. *Review of Economics and Statistics*, vol. 47, 4, p.343 -356.
- Santos, R.F. dos (1987) “Presença de Viéses de Mudança Técnica na Agricultura Brasileira”. São Paulo, IPE-USP, Ensaio Econômicos.1a. ed.,175p.
- Sargent, T. J. (1987).”Dynamic Macroeconomic Theory”. Cambridge, Mass. Harvard University Press, 1^a. ed.
- Schmookler, J. (1966). “Invention and Economic Growth”. Cambridge, Harvard University Press.
- Schultz, T.W. (1963). “ATransformação daAgricultura Tradicional”. (Trad. J.C. Teixeira Rocha), Zahar Editores.
- Segerstrom, P (2000). “The Long Run Growth Effects of R&D Subsidies”. *Journal of Economic Growth*, 5, p.277-205.

- Shah, A. e Desai, M. (1981). "Growth Circles with Induced Technical Change", *The Economic Journal*, vol. 91. 1, p.1006-1010.
- Silveira, J.M.F.J da .(1994). "Análise Econômica das Convenções: em direção a um modelo geral de coordenação econômica". *Economia e Sociedade*, Campinas, vol 3, p.115-122.
- _____, J.M.F.J. da . (1985) "Progresso Técnico e Oligopólio: um estudo sobre a indústria de sementes no Brasil". Dissertação de Mestrado apresentada ao IE Unicamp. mimeo, 189p.
- Silveira, J.M.F & Kageyama, A. (1997) "Agricultura e Questão Regional". *Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural*. Vol 4.
- Silveira, J.M.F.J da & Salles-Filho, S. (1990). "A Teoria da Inovação Induzida e os Modelos *Demand Pull*". *Anais da XXVIII Reunião da Sober*, Florianópolis.
- Solow, R.M (1995) "La Evolution de la Théorie de la Croissance. Problèmes Economiques. n^o2432, p.1-7.
- _____(1992) "Siena Lectures". Siena, mimeo, 92p.
- _____(1956). "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quartely Journal of Economics*, vol. 70, p 65-94.
- Stern, N. (1996). "Growth Theories, Old and New: and the role of agriculture in Economic Development". Rome, FAO Economic and Social Development paper, n^o 136, 125p.
- Stoneman, P. (1983). "The Economic Analysis of Technological Change". London, Oxford University Press.
- Temin, P. (1966). "Labour Scarcity and the Problems of American Industry Efficiency in The 1850's". *Journal of Economic History*, vol. XXVI.
- Thirtle, C.G. (1986). "The Microeconomic Approach to Induced Innovation: a reformulation of the Hayami and Ruttan model". University of Manchester, mimeo, 22p.
- Tiffin, R. e Dawson, P. F. (1995). "Induced Innovation in American Agriculture : a re-examination using cointegration analysis". *Oxford Agrarian Studies*, vol.23, n^o2.
- Varspagen, B. (2000) "Economic Growth and Innovation". Eindhoven, Ecis & Merit, mimeo, 2nd. draft, 27p.
- Whinston, M. (1986). "Exit with Multiplant Firms". Discussion Paper n^o1299, HIER, Harvard University, mimeo.
- Williamson, O.E.(1985). "The Economic Institutions of Capitalism: firms, markets, relational contracting". New York, The Free Press, 130p.
- Young, A.(1928) "Increasing Returns and Economic Progress". *Economic Journal*, vol. 38, 152, p.527-547.

Anexo Equation Section (Next)

Em um modelo de crescimento endógeno verticalizado, apresentado por Aghion & Howitt (1998:109), o valor esperado da inovação de um produtor que está produzindo em um período $s > t$ é dado, para o caso Cobb-Douglas, por

$$V_t = \int_t^{\infty} e^{-\int_t^s r_u du} e^{-\int_t^s \lambda \hat{n}_u du} (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \hat{k}_s ds \quad (8.1)$$

em que o primeiro fator de desconto traz a valor presente os ganhos da inovação a cada momento do tempo, desde que ela foi implantada até o ponto em que o agente é substituído. O segundo fator de desconto representa o efeito da destruição criadora sobre o valor esperado da inovação. O restante representa o ganho propiciado pelo monopolista. $v_t \equiv V_t / A_t^{\max}$ é o valor esperado ajustado pela produtividade. Colocando (8.1) em termos de valor ajustado e diferenciando em função do tempo chega-se a uma equação de Bellman, que dá a equação de movimento do valor esperado da inovação, ajustado pela produtividade.

O interessante é que sendo a condição de arbitragem $\lambda V_t = A_t^{\max}$, que é resultante da forma com que se definiu o modelo (ver item 6.2), $\dot{v} = 0$, sendo o valor de $v_t = 1/\lambda$, ou seja, inversamente proporcional à produtividade da inovação, a cada momento t . Isto reflete a dificuldade crescente de obter sobre-lucros com a inovação à medida que a fronteira tecnológica vai se deslocando, mesmo fora do estado estacionário. Isto faz com que

$$(1-\alpha) \alpha \hat{k}_t^\alpha = (r + \lambda n_t) v_t \quad (8.2)$$

, que é a equação de arbitragem da inovação.

O procedimento para chegar até (8.2) é derivar (8.1), utilizando-se a fórmula de Liebnitz, como apresenta Chiang (1992). V_t ¹⁷²

¹⁷² Agradeço ao prof. Carlos Lenz a ajuda nesta parte do anexo.

$$V_t = \int_t^\infty e^{-\int_t^s r_u du} e^{-\int_t^s \lambda \bar{n}_u du} (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds \text{ e } v_t = \frac{V_t}{A_t^{\max}}$$

$$dv_t/dt = \int_t^\infty \frac{\partial}{\partial t} \left[e^{-\int_t^s r_u du} e^{-\int_t^s \lambda \bar{n}_u du} \right] (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds - \left[e^{-\int_t^s r_u du} e^{-\int_t^s \lambda \bar{n}_u du} \right] (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds \frac{\partial t}{\partial t}$$

obviamente, $\frac{\partial t}{\partial t} = 1$ e a integral definida de t a t é igual a zero, logo,

$$dv_t/dt = \int_t^\infty \frac{\partial}{\partial t} \left[e^{-\int_t^s r_u du + \lambda \bar{n}_u du} \right] (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds - (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds$$

$$\text{sabemos que } \frac{\partial}{\partial t} \left[e^{-\int_t^s f(u) du} \right] = e^{-\int_t^s f(u) du} \frac{\partial}{\partial t} \left[-\int_t^s f(u) du \right]$$

$$= e^{-\int_t^s f(u) du} [+f(t)] \frac{\partial t}{\partial t}$$

$$= f(t) e^{-\int_t^s f(u) du} \text{ e voltando, levando em conta}$$

o valor de v_t e substituindo na expressão abaixo,

$$dv_t/dt = \int_t^\infty \frac{\partial}{\partial t} \left[e^{-\int_t^s r_u du + \lambda \bar{n}_u du} \right] (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds - (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds, \text{ chega-se a}$$

$$dv_t/dt = \int_t^\infty (r_t + \lambda n_t) e^{-\int_t^s r_u du + \lambda \bar{n}_u du} (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_s ds - (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_t$$

$$dv_t/dt = (r_t + \lambda n_t) v_t - (1-\alpha) A_t^{\max} \alpha \widehat{k}_t \text{ que permite chegar a (8.2)}$$

quando $\dot{v} = 0$.