
Modelos de Mudança Tecnológica

MODELOS LINEARES

Atualmente é fato reconhecido que o processo de inovação não é linear, ou seja, a idéia de que a pesquisa fundamental dá origem à pesquisa aplicada, que por sua vez resulta em um protótipo que finalmente, após uma fase de engenharia, resulta em um produto comercial é apenas uma aproximação grosseira.

A literatura sobre a inovação e o seu impacto econômico tem convergido para os chamados modelos interativos da inovação, em que esta é interpretada como um processo com múltiplas retroações, com participação de diferentes atores, em que, por exemplo, a identificação e percepção de

necessidades de mercado desempenham um papel fundamental.⁵²

Surgem sempre algumas dificuldades quando se tenta lidar com a relação ciência-tecnologia, porque essa questão é fortemente afetada por atitudes ideológicas. Isso é um ponto muito importante, não somente quanto ao estudo em questão, mas também quanto à adoção de modelos de mudança tecnológica por aqueles que decidem as políticas de ciência e tecnologia.⁶³

A aceitação, de longa data, do modelo linear de mudança tecnológica pelos que decidem as políticas de ciência é um exemplo. Existiram sempre atrações simplistas em um modelo como o linear, que relaciona causa e efeito, apesar de suas limitações teóricas bem conhecidas.

As políticas científicas de diversos países ainda são fortemente influenciadas pelo modelo linear de mudança tecnológica, embora pesem as críticas que tal modelo tem recebido.

A questão do modelo de mudança tecnológica, aceito por aqueles que elaboram a política científica e os programas nacionais de pesquisa dos diversos países, impõe a necessidade de uma análise mais criteriosa.

Schumpeter, *apud* Veiga,^{120,p.248} sugeriu que o processo de inovação tecnológica ocorre em três fases:

1. Invenção: quando é demonstrada a viabilidade de um novo produto ou processo.
2. Inovação: quando a empresa obtém sucesso na venda de um produto novo ou melhorado, ou na utilização de um processo novo ou aperfeiçoado.

3. Difusão: é a fase em que as inovações são adotadas em escala crescente por outras empresas.

Os diferentes modelos que são aqui abordados implicarão em políticas de desenvolvimento científico e tecnológico bastante distintas, particularmente em relação às parcelas de investimentos orientadas para o suporte das pesquisas básicas.

Tradicionalmente, o caminho pelo qual o conhecimento é produzido e colocado em operação foi descrito em um modo contínuo, da pesquisa básica à pesquisa aplicada e desta ao desenvolvimento tecnológico. Langrish et al. (*Apud* Ruivo¹⁰²) apontam que essa visão postula um “modelo linear-seqüencial” do processo de inovação. Esses autores identificaram duas grandes categorias desse modelo linear-seqüencial: (1) a categoria “empurrado pela descoberta científica” (*discovery-push* ou *science-push*) e (2) a categoria “puxado pela procura” (*demand-pull* ou *market-pull*). Essas categorias, representadas a seguir, são definidas de duas formas: ou a ciência abre novas oportunidades ou as exigências dos consumidores dirigirão o próprio desenvolvimento da ciência.

Modelo *science-push*

Pesquisa Básica orientada pela curiosidade ⇒ *Pesquisa Aplicada* ⇒ *Desenvolvimento Experimental* ⇒ *Inovação Tecnológica*.

Modelo *market-pull*

Procura pelo mercado ⇒ *Pesquisa Aplicada* ⇒ *Desenvolvimento Experimental* ⇒ *Inovação Tecnológica*.

A primeira categoria do modelo mostrou-se bastante atraente para os cientistas, pois justifica maiores investimentos em pesquisa básica. Entretanto, a segunda categoria, um modelo alternativo proposto na década de 1960 com o apoio dos economistas, possui como ponto de partida ao processo de inovação tecnológica o fator da procura pelo mercado, mais do que a disponibilidade de conhecimentos científicos.⁵⁰

Existem estudos empíricos que apóiam o modelo *market-pull*, como o trabalho de Schmookler.¹⁰⁶ Esse estudo cobriu as patentes registradas nos Estados Unidos no período de 1840 a 1950 em quatro grandes indústrias: ferrovias, máquinas agrícolas, papel e refinarias de óleo. Diversos autores como Rosenberg e Freeman analisaram o trabalho de Schmookler, sua importância e suas limitações. Esses autores têm argüido que as forças de ambos os lados, da procura (*market-pull*) e da oferta (*science-push*) influenciam a atividade inventiva.

Mesmo que alguns estudiosos aceitem a proposição de que as forças do lado da procura determinam sozinhas a disponibilização de recursos para a invenção, continua a ser verdade o fato da oferta exercer influência nas conseqüências atuais de tal uso de recursos, isto é, o número de invenções de sucesso e o *timing* (momento adequado para o surgimento) dessas invenções. A explanação da natureza e da composição do resultado das invenções requer necessariamente uma compreensão de como funcionam as forças do lado da oferta.

Rosenberg, que inicialmente enfatizava tanto a procura como a oferta, criou mais tarde um modelo para a compreensão dos avanços científicos que envolviam novamente o seu

estritamento com a categoria *technology-push*. A tecnologia é considerada como um corpo de conhecimento acerca de certas classes de eventos e atividades que têm sido adquiridos e acumulados de formas empíricas durante um longo período. A trajetória natural de certos avanços tecnológicos identifica e define os limites de posteriores avanços que, por seu lado, levam a mais pesquisas.⁹⁴

Para Rosenberg, o progresso tecnológico identifica claramente a direção das novas pesquisas científicas que, por seu lado, oferecem um alto potencial de rendimento. Mesmo quando a pesquisa básica precede uma grande ruptura tecnológica, é o estabelecimento de uma ligação visível entre o campo científico e o campo tecnológico que intensifica a pesquisa nessa direção. Isso se deve a mudanças nas estruturas dos incentivos econômicos.⁹⁴

Freeman³⁵ comparou as proposições de Schmookler com o estudo efetuado por Walsh e Townsend¹²¹ sobre a indústria química no Reino Unido.

Em seu estudo, Freeman tentou descobrir como a ciência e a tecnologia respondiam às necessidades sociais, em particular, às necessidades econômicas. O seu objetivo era descobrir quais os fatores que estimulavam a inovação, quer fossem eles de mercado (*demand*) ou de ciência (*supply*), e que proviam conhecimento. Ruivo¹⁰² salienta que as indústrias estudadas por Schmookler dificilmente poderiam ser chamadas de indústrias de ciência-intensiva e não estavam desempenhando atividades de inovação de elevado grau.

Em contrapartida ao tipo de indústria estudado por Schmookler, outras indústrias, como as químicas, são mais dependentes da ciência. No estudo de Walsh e Townsen,¹²¹ o desenvolvimento da indústria química foi precedido por uma

onda de publicações científicas. Eles afirmam também que pode ocorrer, em qualquer ramo de indústria, uma fase anti-Schmookler seguida por uma fase Schmookler. Isso foi o que aconteceu com a indústria farmacêutica e com a indústria de plásticos. No último caso, esse fato ocorreu quando houve uma mudança de ênfase, de inovação de produto para inovação de processo.

Freeman³⁵ sugeriu que na fase inicial de uma indústria, é o progresso da ciência, apresentado por publicações científicas, que lidera as ondas de invenções e inovações. Nessa fase, a ciência abre as oportunidades para o investimento e a produção. Em uma fase subsequente, é a exigência feita pelo mercado (clientes e consumidores) e as necessidades de melhoria no processo que determinam a atividade inovadora.

Freeman³⁵ também apoiou a interessante idéia de Schumpeter,¹⁰⁷ ligando grandes invenções (carros, máquinas a vapor, ferrovias) à idéia dos ciclos de desenvolvimento econômico avançada por Kondratiev⁵⁴ (ondas longas). Para Freeman, isso tem repercussões enormes tanto sobre as políticas econômicas como sobre as políticas científicas e tecnológicas. Outra consequência é que há uma necessidade por informações estimulantes durante a primeira fase de desenvolvimento de uma tecnologia, período em que não existe a devida atenção para a importância em potencial dessa tecnologia.

O ponto de vista de Freeman³⁵ também clarifica, na opinião de Ruivo,¹⁰² a emergência de diferentes paradigmas da política científica. A presença da ciência como uma fonte de oportunidade estratégica está relacionada com a presença emergente de novas tecnologias derivadas da *science-push*. O "modelo de Freeman" combina *science-push* com *market-pull*.

Na visão de Ziman,¹²³ esse tipo de modelo é chamado de cíclico, no sentido de permitir a ocorrência de algumas realimentações (*feedbacks*). De qualquer modo, para Ziman, o modelo de Freeman ainda é, na sua essência, um modelo linear.

O que se pode afirmar com relativa segurança é que o processo de inovação não pode ser representado por uma seqüência linear de eventos, a partir apenas de um único fator. Ao contrário, o processo ocorre de forma interativa, envolvendo a combinação e a sinergia de muitos fatores, dentre os quais podem ser citados: o domínio de conhecimentos tecnocientíficos específicos; as necessidades e atitudes sociais; a procura pelo mercado; o apoio governamental mediante definição de prioridades e aplicação de instrumentos de fomento apropriados; a capacidade de risco do poder público e do setor empresarial; a disponibilidade de capital para investimentos; a qualidade do sistema das tecnologias industriais básicas (metrologia científica, normalização, informação científica e tecnológica, gestão da qualidade, propriedade industrial etc.); a disponibilidade e a qualidade dos serviços de apoio (marketing, design, informação, certificação de qualidade etc.); a dimensão e a qualidade do sistema de educação tecnológica; a dimensão, a qualidade e o perfil da base tecnocientífica local, regional e nacional etc.⁷⁰

MODELOS INTERATIVOS

Ao menos dois desenvolvimentos intelectuais foram necessários para que emergissem os modelos interativos.⁶

Primeiro, ciência e tecnologia tinham de ser reconhecidas em conjunto como formas de cultura. Tinha de ser aceito que a nova ciência se desenvolve predominantemente a partir da velha ciência, e que novas tecnologias se desenvolvem de velhas tecnologias.

No caso da ciência, a tendência para relacionar novas descobertas somente com a natureza e de dar pouca importância ao conhecimento repassado ou recebido, quer a partir da ciência existente, quer a partir de conhecimentos tecnológicos, constitui um obstáculo que só recentemente foi superado.

No caso da tecnologia, uma preocupação exagerada com o papel da ciência na inovação reduziu durante muito tempo o interesse na atuação muito mais importante da tecnologia existente.

O segundo desenvolvimento necessário para que emergisse o modelo interativo era muito mais sutil. Tinha de se aceitar que o conhecimento não tem implicações inerentes. Enquanto se pensava que as teorias e as descobertas tinham tais implicações, a tecnologia podia ser vista como uma atividade rotineira sempre que as implicações fossem deduzidas e compreendidas.

Qualquer inovação tecnológica poderia ser seguida no tempo e ser compreendida como uma consequência lógica da mais recente teoria científica ou descoberta feita nessa linha de desenvolvimento. O período entre teoria e inovação, o chamado intervalo entre a pesquisa fundamental e a sua aplicação prática, podia ser usado como um parâmetro para avaliar a eficácia ou ineficácia tecnológica.

Cognitivamente não há uma distinção fundamental entre a criação de uma teoria científica e a sua aplicação sub-

seqüente. As duas envolvem o desenvolvimento imaginativo e a aplicação do conhecimento existente com um propósito. O que também ocorre com a exploração da inovação tecnológica no contexto da ciência.⁶

Em um estudo realizado em 1973, Price desenvolveu um modelo do tipo interativo, que desafiou o modelo linear e reafirmou a noção da construção do processo de acumulação ou transferência da velha para a nova ciência e de modo similar da velha para a nova tecnologia. Price considerou que a acumulação da ciência e a da tecnologia interagiam historicamente, embora de modo não muito intenso, de maneira que se pode afirmar que existia uma simbiose entre as duas.⁸⁷

Gibbons e Johnston forneceram as provas necessárias para essa visão, com o estudo do surgimento do transistor.⁴¹ Para eles a história inicial do transistor sugeria que poderia ser mais corretamente descrito como um desenvolvimento tecnológico do que como um desenvolvimento científico. Isso significa que o transistor surgiu, sobretudo, como o resultado de uma construção tecnológica. Nesse estudo, sugerem também que a relação entre a ciência e a tecnologia era uma relação simbiótica. Isso difere da visão daquela época da tecnologia como ciência aplicada.⁴¹

Price expandiu o modelo interativo no que diz respeito à instrumentação com base no telescópio de Galileu e na descoberta da tensão elétrica. Price sugeriu que as “instrumentações”, ou seja, o ato de instrumentar e as técnicas experimentais, têm sido muito importantes na estimulação e na permissão de avanços radicais tanto na ciência fundamental como nas aplicações práticas. Portanto, as políticas

explícitas devem apoiar tanto a instrumentação como a interação entre as culturas científica e tecnológica.⁸⁷

Para Price, deve-se frisar que temos agora um meio útil para apoiar a inovação que não requer um financiamento governamental, mas que se baseia na interação entre todos os locais em que se pratica a ciência experimental. Uma vez que a inovação depende muito desses adventos nas invenções de novas instrumentações, deve-se fazer o possível para promover a transferência de tecnologia entre todos os setores da atividade: universidades, laboratórios governamentais e indústria.⁸⁷

Entre os modelos de tipo interativo, existe o modelo de dois fluxos (*two-stream*) referido por Gibbons (*Apud Ruiivo*¹⁰²). Esse modelo combina a idéia da interação entre as culturas científica e tecnológica com a abordagem *demand-pull*. O *two-stream model* favorece o apoio tecnológico e a pesquisa técnica, se o objetivo é promover a inovação tecnológica, mas também sugere que um importante aspecto da política pública devia ser dirigido à necessidade de manter linhas de comunicação abertas entre ciência e tecnologia.

Muitos autores, como Irvine e Martin,⁵⁰ têm dirigido a atenção para a importância de compreender as mudanças tecnológicas a partir das conclusões de diversos estudos retrospectivos, principalmente projeto HINDSHIGHT, projeto TRACES e projeto SAPHO.

O mérito desses estudos retrospectivos está em “desafiar o modelo de causa e efeito” e permitir uma visão alternativa mais complexa.

O projeto HINDSIGHT, realizado no início da década de 1960 no Departamento de Defesa dos Estados Unidos, verificava a contribuição relativa da ciência e da tecnolo-

gia no desenvolvimento de armas de defesa como os mísseis Polaris, o míssil balístico intercontinental Minuteman e os aviões C-141.¹⁰²

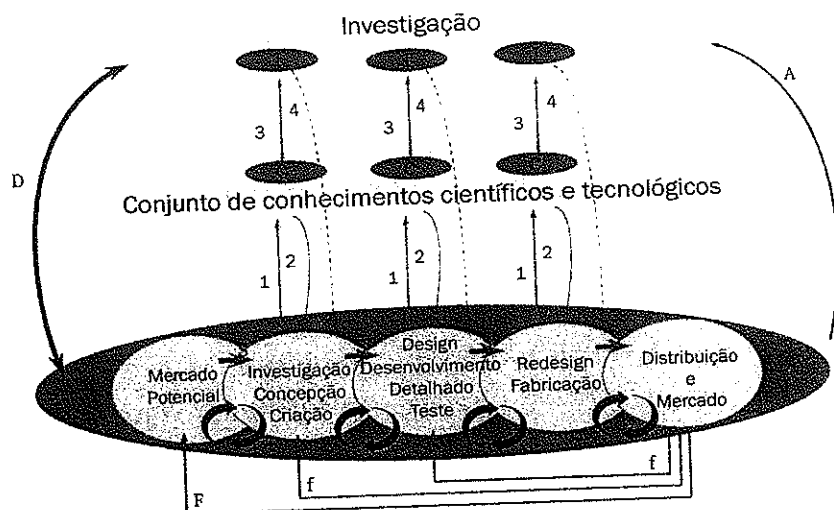
O projeto TRACES (*Technology in Retrospect and Critical Events in Science* – Tecnologia em Retrospecto e Eventos Críticos em Ciência), realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Illinois, tentava traçar acontecimentos críticos de pesquisa que levaram a quatro grandes inovações (o videocassete, a pílula contraceptiva oral, o microscópio eletrônico e os ferrites magnéticos). Nesse projeto, várias correntes da ciência e tecnologia foram descobertas. Essas descobertas se encontravam em oposição àquelas do projeto HINDSIGHT e a amostra usada nesse estudo foi taxada de errônea.²⁵

O projeto SAPHO (*Scientific Activity Predictor from Patterns with Heuristic Organs* – Padrões de Processos Heurísticos para Previsão de Atividade Científica), realizado pelo SPRU (Science Policy Research Unit) da Universidade de Sussex, analisou fatores relacionados com a inovação. Apesar desse projeto não apresentar especificamente as contribuições dadas pela ciência básica em relação a uma pesquisa mais aplicada, produziu um resultado interessante. Enquanto metade das empresas estudadas realizava uma certa quantidade de pesquisa básica, havia apenas uma modesta correlação entre estas e as inovações bem-sucedidas. Essas inovações bem-sucedidas faziam mais uso de tecnologias externas, assim como de conselhos e opiniões científicas.²⁵

Um dos modelos que dá ênfase à existência de feedbacks é o apresentado por Kline e Rosenberg em 1986,⁵² representado na Figura 3.1.

FIGURA 3.1

Modelo de Kline – Rosenberg



O modelo de Kline e Rosenberg também é conhecido como modelo das ligações em cadeia (*chain-link model*).

Nesse modelo, a letra S representa a seqüência principal da inovação, que se inicia com uma invenção ou com o reordenamento de conhecimentos preexistentes (projeto analítico), seguindo-se as fases de projeto de detalhes e testes, revisão do projeto e da produção e, em seguida, o lançamento no mercado com o respectivo marketing e distribuição.

A letra f (minúscula) representa o *feedback* curto entre as fases subseqüentes. Já a letra F (maiúscula) é um *feedback* longo entre as necessidades do mercado e dos utilizadores e as fases anteriores do processo de inovação.

As letras C e I são as ligações em cadeia entre ciência (no desenho representada por I de Investigação) e os conhecimentos que conduzem à inovação (C). Na maioria dos casos as empresas utilizam os conhecimentos C acumulados ao longo do tempo (linhas 1 e 2). Se eventualmente os conhecimentos C que existem não são suficientes, entra em ação a linha 3, ou seja, o recurso à pesquisa I. A linha 4 (tracejada) representa o retorno da pesquisa para a aplicação prática. Note-se que, em todas as fases do processo de inovação, é possível recorrer ao recurso da pesquisa, e não apenas no começo do processo, como no modelo linear.

A linha D corresponde a uma contribuição direta da pesquisa à fase inicial de invenção/realização do projeto. A linha A representa a utilização de inovações (equipamentos, processos etc.) na pesquisa.

Uma alternativa ao modelo linear de mudança tecnológica, o modelo evolucionário (*evolutionary model*), foi apresentado por Nelson e Winter.⁶⁸ Esses autores caracterizaram a criação da inovação como um resultado probabilístico proveniente das várias estratégias de pesquisa e desenvolvimento dentro de um ambiente selecionado.

Os ambientes são: (1) de seleção do mercado, relacionados com as empresas, e (2) de seleção exteriores ao mercado, relacionados com os clientes e as regulamentações. Esses ambientes trazem de volta o tipo de pesquisa e desenvolvimento que as empresas consideram lucrativo e realizável.

Nelson e Winter se dedicaram aos estudos em âmbito micro, os quais, em sua visão, têm documentado fatos sobre a inovação e desafiado a estrutura teórica usual que está por trás dos estudos de crescimento da produtividade.⁶⁸

O primeiro estudo desses autores revela que a inovação envolve incertezas de uma forma essencial. O processo implícito de caracterização dos modelos de produção parecia ser não apenas rudimentar, mas fundamentalmente incerto. O problema não pode ser remediado pela reposição de teoria em termos de expectativas, introduzindo considerações de aversão ao risco etc., pelo contrário, uma estrutura teórica deve incluir diversidade essencial e desequilíbrio nas escolhas.

Devido às incertezas envolvidas, diferentes pessoas e organizações discordarão sobre onde e quando devem fazer as suas apostas acerca de pesquisa e desenvolvimento. Algumas terão razão e outras não. O reconhecimento explícito de que existem incertezas é importante quando se pensa em política (de ciência e tecnologia).⁶⁸

Kline e Rosenberg comentam que o grau de incerteza é fortemente correlacionado com o grau de avanço de uma determinada inovação.⁵²

Há quatro grupos principais de incertezas ligadas à inovação:

1. Incerteza devido a concorrência: uma certa taxa de insucesso é inevitável quando existe uma forte concorrência. Existem situações onde o mercado é tão vasto que pode absorver a produção de várias empresas durante um certo tempo, mas, em alguns casos, o mercado pode ficar rapidamente saturado reduzindo assim a margem de lucro da empresa inovadora.

2. Incerteza devido ao processo de produção: um processo ou um produto aparentemente promissor em escala de laboratório, pode revelar-se inviável junto ao mercado por diversas razões, tais como: baixo rendimento técnico, pouca confiabilidade etc.
3. Incerteza devido ao mercado: algumas vezes a intenção de compra identificada no estudo de mercado revela-se bem diferente da decisão de compra após o lançamento da inovação. Além disso, se o produto leva muito tempo a ser disponibilizado, o resultado do estudo de mercado pode estar ultrapassado.
4. Incerteza devido a erros de gestão: as principais fontes de erros são identificadas com a interpretação das tendências do mercado; com a concorrência; com a concepção do novo produto; com a redação mal feita do pedido de patente ou até mesmo com a omissão deste em um outro país.³⁷

Essas considerações sobre as incertezas, ligadas ao processo de inovação, ajudam a compreender por que vários problemas aparecem em momentos diferentes durante o processo de produção de uma inovação tecnológica.

Devido a essas incertezas, Nelson e Winter produziram alguns conceitos tais como o de regime tecnológico (*technological regime*) em um sentido cognitivo relacionado com a crença técnica sobre o que é viável ou o que, pelo menos, vale a pena tentar.⁶⁸ Outro aspecto a ser considerado é que a estrutura institucional para a inovação é frequentemente muito complexa no interior de cada setor e varia significativamente entre os setores econômicos.¹⁰² Assim, para Nelson

e Winter, a teoria da inovação deve deixar espaço suficiente para a diversidade e a complexidade organizacionais. Esse ponto de vista é muito interessante tanto devido à idéia de incerteza no desenvolvimento tecnológico como devido à necessidade de diversidade institucional. Incerteza e diversidade requerem que diferentes pessoas e diferentes instituições sejam envolvidas no processo.

Giovanni Dosi²⁵ desenvolveu ainda mais o modelo de Nelson e Winter, sugerindo as importantes idéias de paradigma tecnológico (*technological paradigm*) e trajetória tecnológica (*technological trajectory*), indo além da idéia de trajetória natural sugerida por Nelson e Winter e também por Rosenberg.

De modo geral, o conceito de paradigma está associado a padrão. Na verdade, o conceito é bem mais amplo. Pode-se pensar em paradigmas da prática administrativa, do consumo, das leis da física etc. O mais importante é a idéia da possibilidade de romper com paradigmas vigentes, estabelecendo novos paradigmas.^{32,p.241}

Quando há um paradigma vigente, a comunidade científica luta para explicar novos fenômenos e estabelecer relações que confirmem esse paradigma ou que o derrubem. As crises são geradas a partir das falhas do paradigma vigente na tentativa de explicar os novos fenômenos.

Os velhos paradigmas são substituídos – de tempos em tempos, a partir de suas próprias falências – pelos novos, gerando-se um interminável ciclo paradigma-crise-paradigma.⁷⁰

Em analogia à definição de Kuhn⁵⁵ de paradigma científico, Dosi propôs o conceito de paradigma tecnológico como um

padrão de solução de problemas tecno-econômicos selecionados, baseado em princípios altamente selecionados derivados das ciências naturais, orientado para a aquisição de conhecimentos específicos de maneira a resguardá-los de uma rápida difusão aos competidores.^{27,p.1127,28,p.84}

Giovanni Dosi explicou essa analogia dizendo que como um paradigma científico determina o campo de questionamentos, os problemas, os procedimentos e as tarefas, também o paradigma tecnológico o determina (seria talvez melhor falar em ‘grupos de tecnologia’, por exemplo tecnologias nucleares etc.).²⁵

Ao referir-se à direção das mudanças tecnológicas (*technological change*), Dosi considera a existência de paradigmas que condicionam os processos de inovação em direções determinadas pelo conjunto de problemas e soluções considerados previamente relevantes e que delimitam os esforços tecnológicos.

Um paradigma tecnológico define contextualmente as necessidades a serem atendidas, os princípios científicos a serem usados para as tarefas e a tecnologia de materiais a ser empregada.^{27,p.1127}

É também nos limites tecnológicos definidos pelo paradigma que os sinais de mercado podem induzir e influenciar o desenvolvimento do paradigma e das estruturas competitivas.^{11,p.294}

Dosi refere-se à base de conhecimentos (*knowledge base*) para caracterizar o “conjunto de informações iniciais, conhecimentos e capacidades no qual os inventores baseiam-se quando buscam soluções inovadoras”.^{27,p.1126} Os procedimen-

tos, habilidades e a heurística envolvida no processo de busca são, para variados níveis, específicos para cada tecnologia. Em outras palavras, cada paradigma tecnológico envolve uma tecnologia da mudança técnica.^{27,p.1127}

A natureza das atividades produtivas, a base de conhecimentos na qual se desenvolvem as inovações e a distância tecnológica do setor em relação ao que Dosi chama de *core revolutionary* (ponto central, ápice de uma nova tecnologia) indicam as oportunidades tecnológicas do paradigma.^{27,p.1139}

Da maneira como Dosi o descreve, o modelo de Nelson e Winter está relacionado aos mecanismos evolucionários no interior de um ambiente específico, em contraste ao seu próprio modelo, em que pode explorar tanto a continuidade (inovação incremental) como as mutações (inovação radical).

O conceito de trajetória tecnológica também foi proposto por Dosi como o padrão de atividade normal de solução de problemas, isto é, de progresso sobre a base de um paradigma tecnológico.²⁵

A tecnologia evolui ao longo de uma trajetória tecnológica, definida por Dosi como: “a atividade do processo tecnológico ao longo de *trade-offs* [equilíbrio entre os aspectos econômicos e tecnológicos, em que é necessário sacrificar um pouco um aspecto para obter outro] econômicos e tecnológicos definidos pelo paradigma”.^{27,p.1128}

Perez define as trajetórias tecnológicas como o caminho percorrido por uma tecnologia desde o seu aparecimento até a maturidade, desde a sua primeira introdução, relativamente torpe e primitiva, seguida pela identificação de um “gargalo tecnológico atrás de outro”, conduzindo a inovações suplementares, continuando por meio de um processo ou produ-

to, depois do qual os esforços adicionais produzem rendimentos decrescentes.^{79,p.4}

Considerando que as trajetórias tecnológicas são determinadas no campo da principal atividade das empresas inovadoras, Pavitt propôs uma taxionomia dessas trajetórias segundo a origem da tecnologia, as necessidades dos utilizadores dos produtos e as formas de apropriação das inovações pelas empresas.⁷⁶ Na categoria de empresas que Pavitt chamou de dominadas pelos fornecedores, em que estão incluídas a grande maioria das pequenas e médias empresas, a tecnologia vem dos setores fornecedores de equipamentos e matérias-primas e as empresas fazem poucos investimentos em P&D. As inovações ocorrem principalmente em processos e são, sobretudo, resultados de busca pela diminuição de custos.

A dinâmica tecnológica nesses setores industriais dominados pelos fornecedores ocorre pela tentativa das empresas do setor de diminuir ou eliminar a distância em relação à fronteira tecnológica, a qual é definida pelos fornecedores.²⁷ Desse modo, as maiores oportunidades tecnológicas estão fora das indústrias que absorvem tecnologia. Nesses casos, as mudanças tecnológicas dependem, portanto, do estágio da inovação nos fornecedores e das condições das empresas para a adoção daquelas inovações.^{11,p.296}

A perspectiva de retorno econômico, ou seja, a possibilidade de apropriação da tecnologia, influencia diretamente o processo de inovação. A apropriação refere-se

às aquelas propriedades do conhecimento tecnológico e do artefato técnico, do mercado e do ambiente legal que permitem às inovações tornarem-se ativos geradores de renda, protegendo-as, em vários graus, contra a imitação dos competidores.^{27,p.1139}

A facilidade de imitação dos produtos está inversamente relacionada com as condições de apropriação das inovações.^{27,p.1139}

O esforço de formação para a inovação que as empresas realizam, a difusão de novos processos, produtos e serviços e o processo de seleção entre as empresas, condicionados pela natureza de cada paradigma tecnológico com as suas oportunidades tecnológicas e condições de apropriação, são fatores que condicionam a evolução da estrutura industrial e o desempenho das empresas.^{11,p.298}

A área de problemas e soluções delimitada no âmbito de um paradigma apresenta

dimensões econômicas que se expressam nas oportunidades tecnológicas que o paradigma pode oferecer e nas possibilidades das empresas para explorar estas oportunidades, ou seja, nas condições de apropriação das inovações inerentes ao paradigma.^{11,p.295}

Os padrões de mudança técnica observados são, por um lado, o resultado de uma interação entre várias formas de incentivos vindos do mercado e, por outro lado, uma combinação de oportunidades à apropriação.^{27,p.1141}

As oportunidades tecnológicas externas ao setor da empresa tendem a facilitar a imitação como principal forma de difusão tecnológica. No entanto, o acesso a novos equipamentos requer alguma capacidade tecnológica e, considerando a existência nas empresas de esforços de capacidade tecnológica própria, os custos de formação que decorrem da imitação atuam no sentido de restringir ou retardar esse processo de difusão.^{11,p.297}

O “progresso” ao longo de uma trajetória tecnológica provavelmente retém alguns efeitos cumulativos: a probabilidade de futuros avanços, nesse caso, está relacionada também com a posição que alguém (uma empresa ou um país) ocupa *vis-à-vis* a fronteira tecnológica existente.^{25,p.154}

Embora a aleatoriedade seja uma característica inerente aos processos de busca, a inovação não é resultado de uma descoberta completamente aleatória. A inovação deriva de um investimento de longo prazo em atividades de pesquisa e desenvolvimento. As empresas acumulam experiências e conhecimentos específicos no processo de mudança tecnológica, que as habilitam a escolher entre as possíveis trajetórias técnicas e de mercado, visualizando as suas próprias oportunidades.⁴⁸

Da mesma forma que no modelo de Nelson e Winter, duas importantes características do modelo de Dosi são a incerteza e a diversidade institucional. Para Dosi, os fatores institucionais cruciais em políticas públicas são:

1. A acumulação do conhecimento tanto na forma científica como na forma aplicada.
2. Formas de intervenção institucional que permitem uma diversidade de experiências e competição, tanto em termos de exploração tecnológica como de tentativas de fabricação.
3. O efeito seletivo e direcionado induzido por várias formas de interesses não-econômicos tais como: programas específicos de conservação de energia, exigências tecnológicas militares e a tendência nacional em direção a auto-suficiência em algum setor particular.²⁵

Não se pode esquecer que os novos arranjos institucionais para a criação e difusão do conhecimento estão, presente-mente, alastrando-se. Alguns desses novos arranjos estão relacionados com as novas alianças ou parcerias em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Ruivo refere-se às novas ligações que estão se formando entre diferentes setores (empresas privadas, indústrias, universidades, Estado) para estimular a produção do conhecimento. Essas novas ligações incluem uma diversidade de serviços tais como: os contratos universidade-empresa, consórcios entre empresas e programas governamentais, e entre universidade e empresa.¹⁰² Essas alianças e instituições representam uma procura por novas formas organizacionais que realizem as funções de criação de conhecimento e o convertam em produtos, processos e serviços aplicáveis no mercado, ou seja, em inovações.³⁴

Belt e Rip levaram ainda mais longe o modelo Nelson-Winter-Dosi, aplicando-o à indústria química de tintas sintéticas do século XIX (*Apud* Ruivo¹⁰²). Eles desenvolveram o modelo, por um lado, utilizando o conceito de Kuhn⁵⁵ de “exemplar” (novidade de grande impacto no meio científico em que surgiu) e “matriz” (aqui uma matriz cultural) e, por outro lado, vendo o processo de inovação como uma síntese cumulativa de itens originalmente independentes. Nesse sentido, Belt e Rip viram o desenvolvimento tecnológico como um processo de trabalho em rede.

O que há de novo no ponto de vista de Belt e Rip a respeito do modelo de Nelson e Winter pode ser observado quando comentam que a ocorrência de um paradigma tecnológico pode ser caracterizada pelo agrupamento de uma heurística de sucesso em torno de uma novidade exemplar. O surgimento desta novidade exemplar é uma condição ne-

cessária, mas não suficiente, para o desenvolvimento tecnológico normal ocorrer ao longo de uma trajetória (*Apud* Ruivo¹⁰²).

Além disso, devem existir expectativas acerca do sucesso do trabalho contínuo no interior desse grupo de expectativas heurísticas que devem estar embutidas na subcultura dos técnicos e outros envolvidos no desenvolvimento. A combinação de uma novidade exemplar e de uma matriz de cultura forma um paradigma tecnológico e as articulações seguintes com o paradigma, influenciado por ambientes específicos, levam a uma trajetória tecnológica (*Apud* Ruivo¹⁰²). Essa visão de Belt e Rip é também uma novidade devido à idéia de matriz de cultura das expectativas vista como um fator estratégico na emergência de um novo paradigma.¹⁰²

É importante enfatizar o papel dos recursos humanos no modelo de Belt e Rip. Alguns modelos chamam a atenção para o papel dos diferentes atores no processo de inovação. Schumpeter focalizou sua atenção sobre o papel dos empreendedores. Essa é uma importante idéia para compreender, por exemplo, o novo papel dos cientistas que têm o espírito empreendedor.

Mais recentemente, na nova e emergente sociologia da tecnologia, apareceu um novo modelo de mudança tecnológica, ilustrado pelo estudo da física solar e pelo estudo do desenvolvimento da bicicleta, o modelo multidirecional de Pinch e Bijker (*Apud* Ruivo¹⁰²). Esse modelo de construção social incorpora o papel de relevantes grupos sociais no processo de seleção das tecnologias. O conceito de relevante grupo social é usado para representar instituições e organizações (como as militares ou alguma empresa industrial específica), assim como grupos de indivíduos organizados ou não.

Pinch e Bijker (*Apud* Ruivo¹⁰²) utilizaram mais dois conceitos, aqueles da flexibilidade interpretativa e mecanismos de estreitamento. Flexibilidade interpretativa significa que existe mais de uma interpretação para um produto. Mecanismo de estreitamento está relacionado ao meio sociocultural mais vasto.

O papel dos grupos sociais está ilustrado no caso do desenvolvimento da bicicleta, pelas exigências técnicas conflituosas, como a exigência de velocidade para os homens e de segurança para as mulheres.

Pinch e Bijker salientaram que além dos imperativos tecnológicos, existem também os judiciais, ou até morais (por exemplo, alterando comportamentos e atitudes no sentido da mulher começar a usar calças para andar de bicicleta). Como esses autores têm salientado, obviamente a situação política e sociocultural de um grupo social molda as suas normas e os seus valores, que por sua vez influenciam o significado dado a um produto. A flexibilidade interpretativa dos produtos tecnológicos e os diferentes mecanismos de estreitamento desempenham um papel na estabilização das tecnologias no modelo.

Tanto o modelo de Nelson e Winter, com uma visão sobre o papel de clientes e reguladores, como o modelo multidirecional de Pinch e Bijker, acerca do papel dos grupos sociais organizados e não-organizados, apóiam a idéia de que existe a necessidade da participação de diversos atores na formulação da política científica e tecnológica.

Na opinião de Ruivo, a versão de "procura pelo mercado/empurrado pela ciência" (*demand-pull/science-push*) para o modelo linear está principalmente relacionada ao estudo da economia da inovação, ao modelo interativo (*interactive mo-*

del) para a sociologia da ciência e ao modelo multidirecional (*multi-directional model*) de Pinch e Bijker para diversas disciplinas, incluindo a recente sociologia da tecnologia.¹⁰¹

Vergragt (*Apud* Ruivo¹⁰²) tentou introduzir um novo modelo, o qual tentava melhorar as duas formas de estudar a moldagem de novas tecnologias, ou seja, analisar tanto o controle público das tecnologias pelos governos, como a moldagem social dessas novas tecnologias. Seu estudo investigou os processos políticos e sociais que moldam o estágio da inovação industrial dentro do laboratório de pesquisa industrial.

Vergragt tenta conjugar os dois contextos: aquele em que operam os cientistas e aquele em que operam os atores políticos, incluindo os atores econômicos e os tomadores de decisão. Esse autor baseia-se na idéia de negociação em ciência e analisou o processo de pesquisa como um processo negociado. Definiu o seu modelo como uma combinação entre modelo de negociação, concentrando-se sobretudo nos atores, e história dos projetos de pesquisa, ilustrando escolhas e decisões tomadas.

Nelson (*Apud* Ruivo¹⁰¹), em artigos posteriores, voltou a abordar a questão de quem tem o direito de apropriar-se do conhecimento e controlá-lo, dentro da visão de um processo evolucionário, relacionado à propriedade do conhecimento.

Do ponto de vista de Nelson, o processo de avanços técnicos é explicado por uma combinação única de conhecimento público (universal, aberto) e privado (específico, particular). Para esse autor a posse privada, por um certo tempo, de conhecimento tecnológico pelas empresas, naqueles laboratórios nos quais é produzido, e a competição induzida entre empresas desempenham um papel importante (*Apud* Ruivo¹⁰¹).

Assuntos importantes são, por um lado, as fronteiras entre o conhecimento público e o privado e, por outro, a partilha da ação destinada a diferentes instituições, como as empresas e as universidades.

Voltando ao modelo de Nelson-Winter-Dosi e às suas variantes nos modelos de Belt e Rip e de Pinch e Bijker, deve-se notar de que maneira diferentes atores estão implicados no processo de seleção de tecnologias.

Ziman (*Apud* Ruiivo¹⁰²) propôs, em relação à parte da inovação que advém de pesquisa e desenvolvimento, um novo modelo, o modelo da rede neural (*neural net model*), que combina redes sociais, redes cognitivas e mercado. O modelo de Ziman enfatiza os processos do trabalho em rede. É interessante lembrar que esses processos são estimulados no estado estável (*steady state*) da pesquisa.

A evolução dos modelos de mudança tecnológica clarifica a aparência dos diferentes tipos de instituição para a exploração dos resultados da pesquisa e para a inovação. Os focos sobre serviços técnicos e científicos como os desempenhados por instituições que promovem a interação estão claramente relacionados com o modelo linear. Já as novas instituições de pesquisa em colaboração, incluindo diversos atores como os agentes econômicos e pesquisadores, estão relacionadas com modelos mais complexos.

As interpretações tradicionais sobre a tecnologia sugerem, de modo linear, que o fortalecimento da pesquisa básica induz à inovação. Sob esse ponto de vista, o problema se reduz a uma situação de transferência de conhecimento (*knowledge transfer*) ou de tecnologia (*technology transfer*), que requer apenas algumas ferramentas de gestão. No entanto, nessa interpretação há pelo menos dois problemas,

que no caso de países como o Brasil, com economias em desenvolvimento, são cruciais.

Por um lado, essa interpretação está centrada em favorecer a oferta tecnocientífica, negligenciando o fator da procura pelo mercado, ou seja, não leva em consideração o fato de que a característica principal da inovação é a sua incorporação ao mercado e não a sua origem. Em consequência disso, descuidam do fato de que a inovação nem sempre provém de descobrimentos científicos e, inclusive, nem todas as atividades inovadoras, incluindo aí a pesquisa científica, conduzem a inovações concretas.^{43,p.740}

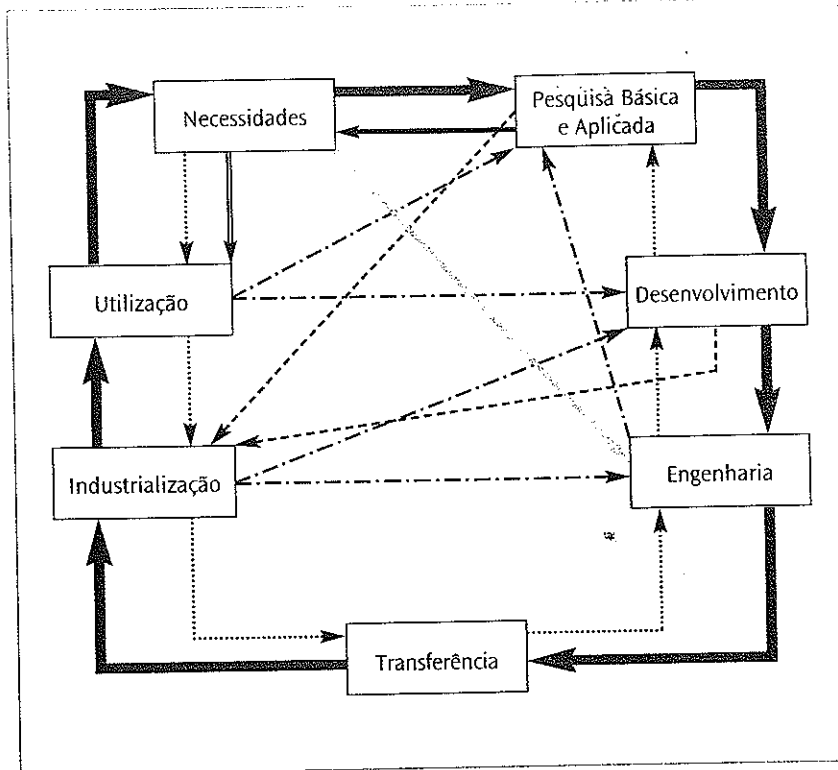
Por outro lado, alguns trabalhos sobre esses temas^{10;53} têm mostrado que, crescentemente, a competitividade das organizações depende menos das descobertas realizadas pelas pesquisas fundamentais e mais da capacidade de combinar diversos tipos de tecnologias com eficientes processos de manufatura e produtos de alta qualidade.

Diferentes modelos de mudança tecnológica têm sido estudados. Esses modelos dependem tanto da visão de desenvolvimento e progresso da inovação tecnológica como também dos diferentes períodos históricos. A adoção dos modelos depende do nível de desenvolvimento da indústria, das habilidades e práticas tecnológicas e, por último, da ciência em si.

Após a análise dos estudos de Barnes, Edge, Langrish, Price, Gibbons, Johnston, Rosenberg, Nelson, Winter, Dosi, Belt, Rip, Pinch, Bijker, Ziman, quanto à interação entre a ciência e a tecnologia e os modelos de mudança tecnológica, é possível propor uma estrutura representativa desses diversos modelos. Essa estrutura é apresentada na figura 3.2.

FIGURA 3.2

Os diversos modelos de mudança tecnológica



- Seqüência mais comum (típica)
- Realimentações curtas
- Realimentações longas
- Atalhos atípicos
- Uso de tecnologia já disponibilizada
- Mudança de comportamento
- Uso diferente para uma tecnologia

QUESTÕES PARA DEBATE EM GRUPO

- 1) Se tivéssemos somente o modelo linear de mudança tecnológica, qual das categorias é a mais adequada para ser incentivada pelo governo brasileiro: *science-push* ou *market-pull*? Aqui, sugere-se ao condutor do debate que separe os debatedores em dois grupos, aqueles pró-*science-push* e aqueles pró-*market-pull*.
- 2) Exemplificar casos reais que explicitem a necessidade de que o modelo linear de mudanças tecnológicas seja repensado, incorporando interações e realimentações entre as diversas fases até a obtenção da inovação tecnológica.
- 3) A interação entre a ciência e a tecnologia foi referida por Price, em 1973. De que modo o surgimento do transistor, estudado por Gibbons e Johnston, veio comprovar essa interação?
- 4) Grandes projetos como HINDSIGHT, TRACES e SAPHO foram realizados para estudar os modelos de mudanças tecnológicas. Entretanto, esses estudos já foram realizados há algum tempo. É possível que já se tenha chegado ao modelo efetivamente representativo de tais mudanças?
- 5) Sugere-se aqui, ao condutor dos debates, separar os debatedores em grupos e dar a cada grupo a incumbência de apresentar e defender um dos modelos estudados.