



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA

Wagner Madeira da Silva

**A Aventura da Inovação:
Grandes Projetos como Instrumento de Política
Tecnológica**

Campinas
2017



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE ECONOMIA

WAGNER MADEIRA DA SILVA

A Aventura da Inovação: Grandes Projetos como Instrumento de Política Tecnológica

Prof. Dr. Célio Hiratuka – orientador

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Ciências Econômicas.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA PELO ALUNO WAGNER
MADEIRA DA SILVA E ORIENTADA PELO PROF. DR.
CÉLIO HIRATUKA.

Orientador

CAMPINAS
2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

ORCID: <http://orcid.org/http://orcid.org/ht>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Economia
Mirian Clavico Alves - CRB 8/8708

M264a Madeira, Wagner, 1965-
A aventura da inovação : grandes projetos como instrumento de política tecnológica / Wagner Madeira da Silva. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Célio Hiratuka.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Inovações tecnológicas. 2. Política industrial. 3. Políticas públicas. 4. Projeto Apolo. I. Hiratuka, Célio, 1970-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: The innovation adventure : grand projects as a tool for technological policy

Palavras-chave em inglês:

Technological innovations

Industrial policy

Public policy

Apollo program

Área de concentração: Teoria Econômica

Titulação: Mestre em Ciências Econômicas

Banca examinadora:

Célio Hiratuka [Orientador]

Caetano Christophe Rosado Penna

Paulo Sérgio Fracalanza

Data de defesa: 05-06-2017

Programa de Pós-Graduação: Ciências Econômicas



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

WAGNER MADEIRA DA SILVA

A Aventura da Inovação: Grandes Projetos como Instrumento de Política Tecnológica

Defendida em 05/06/2017

COMISSÃO JULGADORA

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a hand-drawn oval.

Prof. Dr. Célio Hiratuka
Instituto de Economia / UNICAMP

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "P.S. Fracalanza".

Prof. Dr. Paulo Sérgio Fracalanza
Instituto de Economia / UNICAMP

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Caetano Christophe Rosado Penna".

Prof. Dr. Caetano Christophe Rosado Penna
Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ

Ata de Defesa, assinada pelos membros da
Comissão Examinadora, consta no processo
de vida acadêmica do aluno.

Para Altamiro (*in memoriam*), para quem
o novo foi sempre bem-vindo.

Agradecimentos

À Neusa por desenterrar a motivação, à Ondina por ensinar perseverança e doçura e pelo amoroso apoio incondicional. À Wilma pelo exemplo e ao Bruno por fazer querer ser exemplo. Ao Mauro pela paciência, a Eduardo, Fernando, Patrícia e Ronaldo por compartilharem a jornada. Aos colegas, funcionários e professores da Unicamp pelo ambiente acolhedor, plural e intelectualmente instigante, especialmente aos professores Fracalanza, José Maria, Macedo e Silva, Hiratuka e Sarti por não deixarem esquecer que é possível lecionar com competência e entusiasmo.

À Sueli pela inspiração, compreensão e tudo mais.

For better or for worse, economic life is an adventure.

Richard R. Nelson & Sidney G. Winter

RESUMO

Este trabalho corteja uma ideia central – a da viabilidade de Grandes Projetos como Instrumento de Política Pública para incentivo à Inovação Tecnológica. Para tanto, analisamos sucinta e comparativamente o Projeto Manhattan e o Programa Apollo, possivelmente os empreendimentos científico-tecnológicos mais emblemáticos do século XX, bem como outras iniciativas mais recentes, supostamente semelhantes, mas não sem antes introduzir elementos essenciais à discussão. Primeiramente esboçamos uma noção de inovação que exclui mudanças puramente organizacionais ou mercantis, mas inclui as não sancionadas pelo mercado. Nela o processo inovativo, que é essencialmente a busca de solução para um problema, não decorre da mera aplicação da Ciência e guarda autonomia da pesquisa científica, é cumulativo e por isso influenciado pelo passado, mas pode exibir descontinuidade, é evolutivo, intencional e condicionado economicamente. Em seguida exploramos as duas dimensões fundamentais da Mudança Técnica: não precisão (incerteza) que é radical em seus aspectos técnicos, econômicos e sociais, e precisão (necessidade) cuja sustentação absoluta, analítica ou quantitativa é deficiente, mas pode ser defendida em termos relativos. Depois, buscando cotejar as diversas perspectivas teóricas sobre Políticas Tecnológicas e Industrias propomos um modelo analítico que nos permitiu separá-las em onze categorias, quatro das quais baseadas na teoria econômica *mainstream* e as demais em visões alternativas.

Concluímos que a contradição entre as duas dimensões fundamentais da Inovação – incerteza e necessidade - implica distribuição assimétrica de custos e benefícios, de forma que usualmente alguém perde dinheiro no processo – normalmente quem se atreve a se ocupar das etapas mais importantes e arriscadas. Constatamos também, a partir da comparação entre Políticas Tecnológicas, que elas parecem se preocupar principalmente com as condições necessárias para o surgimento da Mudança Técnica, procedendo mais ou menos como a lei de Say que assume que toda oferta gera sua própria demanda, o que não seria problema para uma nação central que usa e abusa dos instrumentos disponíveis para manter-se na vanguarda em várias fronteiras tecnológicas simultaneamente, mas pode trazer dificuldades para as que aspirem inovar mas não dispõem dos mesmos recursos.

Depois, analisando iniciativas concretas de Políticas Tecnológicas classificadas como Orientadas a Missão, argumentamos que estas não correspondem exatamente ao que aqui denominamos Grande Projeto, que está mais próximo dos programas históricos analisados. Defendemos também que dificuldades, frequentemente apontadas no emprego dos Grandes Projetos do passado como modelo de política para enfrentamento de grandes problemas econômicos e sociais contemporâneos, têm mais relação com tal divergência de classificação do que com características intrínsecas ao Grande Projeto. Com efeito, comparando Manhattan, Apollo e casos mais recentes indicamos que, entre outros aspectos, clareza inequívoca da meta e a oportunidade tecnológica para seu atingimento são os traços definidores que geralmente não estão presentes nos instrumentos Orientados a Missão.

Por fim, argumentamos que Grandes Projetos seriam capazes de complementar os instrumentos de política anteriormente analisados, deliberadamente explorando trajetórias tecnológicas diversas, coordenando agentes, articulando esforços e estabelecendo rumos, de forma a superar as dificuldades apontadas. Mais ainda, as normalmente raras circunstâncias propícias à organização de um Grande Projeto podem apresentar-se mais frequentemente para países periféricos, constituindo assim uma alternativa eficiente para aplicação de seus escassos recursos na busca por inovação.

Palavras-chave: **Inovação; Mudança Técnica; Política Pública; Política Tecnológica; Grande Projeto; Política Orientada a Missão; Programa Apollo; Projeto Manhattan.**

ABSTRACT

This text deals with a central idea - the feasibility of Grand Projects as an Instrument of Public Policy to foster Technological Innovation. In order to do so, we summarily and comparatively analyze the Manhattan Project and the Apollo Program, possibly the most iconic scientific-technological enterprises of the twentieth century, as well as other latter initiatives, supposedly similar, however, introducing before some elements essential to the discussion. First, we outline a notion of innovation that excludes purely organizational or market changes, but includes those not sanctioned by the market. In it the innovative process, which is essentially the solution search for a problem, does not stem from the mere application of Science, is cumulative and therefore influenced by the past, but can exhibit discontinuity, it is evolutionary, intentional and conditioned economically. We then explore the two fundamental dimensions of Technical Change: uncertainty, which is radical in its technical, economic and social aspects, and necessity, whose absolute, analytical or quantitative support is deficient but is defensible in relative terms. Then, seeking to compare the different theoretical perspectives on Technological and Industrial Policies, we propose an analytical model that allowed us to separate them into eleven categories, four of them based on mainstream economic theory and the others on alternative visions.

We conclude that the contradiction between the two fundamental dimensions of Innovation - uncertainty and necessity - implies in asymmetric distribution of costs and benefits, so that routinely someone loses money in the process - usually who dares to face the most important and risky steps. We also find, from the comparison between Technological Policies, that they seem to be mainly concerned with the necessary conditions for the emergence of Technical Change, proceeding more or less as Say's law, which assumes that supply generates its own demand. This would not be a problem for a central nation that uses all the available tools to stay ahead in several technological frontiers simultaneously, but could be hard for those who aspire to innovate but do not have the same resources.

Then, analyzing concrete initiatives of Technological Policies classified as Mission Oriented, we argue that these do not necessarily correspond to what we call

Grand Project, which is closer to the historical programs analyzed. We also argue that difficulties, often pointed out in applying Grand Projects of the past as a model of policy to face major contemporary economic and social problems, relate more to such divergence of classification than to intrinsic characteristics of Grand Projects. Indeed, comparison of Manhattan, Apollo, and latter cases indicates that, among other things, unambiguous clarity of the goal and the technological opportunity to achieve it are defining traits that are not usually present in Mission Oriented Instruments.

Finally, we argue that Grand Projects could serve to complement the previously analyzed policy instruments, deliberately exploiting diverse technological trajectories, coordinating agents, articulating efforts and establishing routes, in order to overcome the difficulties pointed out. Moreover, the usually rare circumstances conducive to the organization of a Grand Project may present themselves more frequently to peripheral countries, thus providing an efficient alternative for the application of their scarce resources in the quest for innovation.

Key Words: Innovation; Technical Change; Public Policy; Technological Policy; Grand Project; Mission Oriented; Apollo Program; Manhattan Project.

Índice de Ilustrações

Figura 1 - Solow x Shaikh.....	44
Figura 2 - Aerogeradores de uma e duas Lâminas	53
Figura 3 - Aerogeradores pioneiros com três lâminas	57
Figura 4 – Modelo: da Teoria à Política de Incentivo à inovação.....	68
Figura 5 - Cronômetros Marítimos.....	130

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Categorias de Política Industrial	65
Tabela 2 - Categorias de Política Tecnológica	66
Tabela 3 - Comparação entre modelos de mudança técnica.....	103
Tabela 4 - Políticas Tecnológicas Orientadas a Missão e à Difusão	121

Sumário

1	INTRODUÇÃO: INOVAR É PRECISO, INOVAR NÃO É PRECISO.	15
1.1	O QUE É INOVAÇÃO?	18
1.2	INOVAR NÃO É PRECISO	30
1.2.1	<i>Incerteza Técnica</i>	31
1.2.2	<i>Incerteza Econômica</i>	32
1.2.3	<i>Incerteza Social</i>	36
1.3	INOVAR É PRECISO	40
1.3.1	<i>Raciocínio errado / Resposta certa</i>	40
1.3.2	<i>Crescer é Preciso?</i>	45
1.3.3	<i>Parando no meio do caminho</i>	48
1.4	MAS, QUEM É QUE VAI PAGAR POR ISSO?	51
1.4.1	<i>Uma breve história do vento...</i>	52
1.4.2	<i>...e duas interpretações</i>	57
2	ROTAS EM MAR TURBULENTO.....	61
2.1	QUERER NÃO É PODER	61
2.2	ENTRE TEORIA E PRÁTICA EXISTE UM VÃO	65
2.3	SETE MODELOS, SEUS DIAGNÓSTICOS E POLÍTICAS	70
2.3.1	<i>A Milagrosa Máquina de Inovar</i>	71
2.3.1.1	Neoclássico Básico	72
2.3.1.2	Livre Mercado Inovador	73
2.3.1.3	Falhas de Mercado	75
2.3.2	<i>O Mundo visto como uma escada</i>	80
2.3.2.1	Escada não, andaime.....	83
2.3.2.2	Limpando degraus.....	84
2.3.2.3	Chutando a escada	86
2.3.3	<i>Tamanho é Documento</i>	89
2.3.4	<i>O Inventor Herói no Parque dos Dinossauros</i>	91
2.3.5	<i>Entre Laços e Nós</i>	93
2.3.6	<i>De Frente para a Aventura</i>	96
2.3.7	<i>Falso Vilão</i>	99
2.3.8	<i>Comparando</i>	101
2.4	NÃO É IGUAL, MAS DÁ NA MESMA	104
2.4.1	<i>Lei de Say da mudança técnica</i>	104

2.4.2	<i>O que é bom para os americanos... ou de volta à roleta de Lord Keynes</i>	105
2.4.3	<i>Nem só de marteladas</i>	111
3	TERRA À VISTA	113
3.1	A LUA E O ÁTOMO	117
3.2	NEM MISSÃO, NEM PRÊMIO: PROJETO	121
3.2.1	<i>Comida, Saúde e Energia</i>	123
3.2.2	<i>Longitude</i>	128
3.2.3	<i>Assim Falou o Presidente</i>	131
3.3	UM RUMO	132
3.3.1	<i>Estranho Mundo</i>	133
3.3.2	<i>Oportunidade</i>	136
3.3.3	<i>Trilhando caminhos paralelos</i>	139
3.3.4	<i>Derramando Tesouros pelo Caminho</i>	142
4	PORTO DE CHEGADA É TAMBÉM DE PARTIDA	152
4.1	AQUI E AGORA	152
4.2	O FIM E APÓS	155
5	REFERÊNCIAS	161

1 Introdução: Inovar é preciso, inovar não é preciso.

Navegadores antigos tinham uma frase gloriosa:
 "Navegar é preciso; viver não é preciso".
 Quero para mim o espírito [d]esta frase,
 transformada a forma para a casar como eu sou:
 Viver não é necessário; o que é necessário é criar.
 [...]
 para a evolução da humanidade.
 É a forma que em mim tomou o misticismo da nossa
 Raça
Fernando Pessoa

Quando Fernando Pessoa imortalizou em seus versos o antigo lema “Navegar é Preciso; Viver não é preciso”, não quis jogar com o duplo sentido do adjetivo em português: enalteceu a bravura dos marinheiros portugueses ao dizer que navegar era mais necessário que viver¹. Contudo, foi o “ser preciso”, no outro sentido, que revolucionou o “navegar”. A precisão, conferida pela bússola e astrolábio, tornou possível rotas por mares nunca d’antes navegados. A história das Grandes Navegações, assim como outras transformações econômicas e sociais importantes, pode ser contada pelas inovações técnicas que as propiciaram. A história dos Descobrimentos e suas tremendas consequências não é mais sobre poético heroísmo do que sobre combinação de inovações: da caravela com bússola e o astrolábio e destes com o canhão².

Ao contrário do grande poeta, o título deste capítulo brinca com os dois sentidos de “preciso”, porque justamente através deles podemos indicar as duas características da mudança técnica fundamentais para seu entendimento econômico. Inovar é preciso, isto é, necessário, porque o surgimento de inovações é

1 A frase original em latim, "*Navigare necesse; vivere non est necesse*" é atribuída, em Vidas Paralelas de Plutarco, a Pompeu, general romano, 106-48 a.c., que apesar de uma grande tormenta, ordenou que as suas naus partissem em direção a Roma, com o trigo que tinham carregado na Sicília, na Sardenha e na África (PESSOA; SOARES, 2011, pp. 146-147).

2 Law (1989) usa as grandes navegações portuguesas como foco empírico para explicar sua teoria social da mudança tecnológica, que Parayil (1999) classifica como Engenharia Heterogênea, filiada teoricamente a modelo sociológico mais amplo, a Actor-Network. Segundo o autor, a caravela, artefato tecnológico mais marcante do período, é fenômeno emergente que resulta da associação de madeira, vela, bússola, canhão, etc.

fundamental para a obtenção de bem-estar material e a própria sustentação de populações crescentes face a recursos naturais finitos, além de outras necessidades “menos básicas” que detalharemos adiante. Mas, inovar não é preciso, ou seja, é impreciso, justamente pela incerteza que envolve a construção ou surgimento de inovações técnicas.

Neste primeiro capítulo tratamos destas duas dimensões da mudança técnica, ainda que na ordem inversa do título do capítulo. Na segunda seção abordaremos a imprecisão, a incerteza, por ser este o atributo mais fundamental da mudança técnica e cuja abordagem deve estar no centro das considerações de modelos econômicos que tratem da Inovação. Nesta seção exploramos três dimensões, Técnica, Econômica e Social, da Incerteza radical intrínseca à Mudança Técnica vista como fenômeno econômico. Na terceira seção argumentamos que - apesar das insuficiências teóricas nas causalidades às vezes supostas entre fatores econômicos endógenos e inovação, entre inovação e crescimento e entre crescimento e bem-estar – perseguir a inovação técnica é preciso (necessário) econômica e socialmente. Antes, porém, de abordarmos seus atributos principais – incerteza e necessidade – faz sentido definir o objeto que os possui, a inovação em si. É o que fazemos na primeira seção, de forma a estabelecer um conceito coerente com nossa argumentação posterior.

No segundo capítulo revisamos algumas correntes de pensamento econômico, buscando uma linguagem comum para relatar como cada uma enxerga a dinâmica econômica da Mudança Técnica, sua origem, mecanismo interno, obstáculos enfrentados e eventuais instrumentos de Política Tecnológica que poderiam ser por elas justificadas. Argumentamos que, em que pesem as divergências teóricas entre elas, as recomendações que podem ser delas derivadas não são tão agudamente distinguíveis entre si. Defendemos também que os modelos revistos dão mais ênfase à criação das condições necessárias ao surgimento da Inovação, pouco se ocupando da motivação ou direcionamento do processo inovativo.

Já no terceiro e último capítulo especulamos sobre a viabilidade da utilização de Grandes Projetos como instrumento de Política Tecnológica. Para tanto, nos valem dos dois exemplos clássicos: Projeto Manhattan e Programa

Apollo que, conforme defendem vários autores, não são modelos diretamente aplicáveis na busca de solução tecnológica para a maioria dos desafios sociais e econômicos atuais. Argumentamos que as Iniciativas Orientadas a Missão, que aparecem na literatura econômica como categoria geral que engloba os dois projetos históricos, entre muitos outros, é ampla demais e despreza aspectos importantes que caracterizam uma classe mais restrita de iniciativas que chamamos de Grande Projeto. Por fim, defendemos que em determinadas circunstâncias, que procuramos estabelecer, um Grande Projeto com finalidade civil e em ambiente competitivo poderia ser um instrumento válido para incentivo à Inovação. E mais: tais circunstâncias podem ser relativamente mais frequentes para países periféricos, o que constituiria uma oportunidade para os que almejam incrementar a inovação em sua Economia.

1.1 O que é inovação?

Esta seção não tem a pretensão de propor um conceito para inovação que seja mais abrangente, superior, nem ao menos original. Busca simplesmente delimitar o objeto de interesse, diante da variedade de conceitos que podem ser encontrados na literatura. Ou, em outras palavras, dizer o “que não é inovação” para nossos fins, evitando induzir interpretações equivocadas dos argumentos que desenvolvemos nas seções seguintes, em virtude de conceituações distintas ou mais amplas do que a aqui utilizada. Para tanto, nesta seção, prosseguiremos através de “aproximações sucessivas”. Para cada noção de inovação apresentada, interporemos inadequações em relação aos objetivos deste trabalho e em seguida outra noção que supere tais inadequações, mas expondo outras, que serão superadas pela noção seguinte. Desta forma os conceitos apresentados em sequência, mas não necessariamente em ordem cronológica, apararão as arestas deixadas pelo conceito anterior, até que reste uma conceituação de inovação compatível com os propósitos deste trabalho³.

Por questões de estilo, usaremos indistintamente os termos: Inovação, Inovação Técnica, Inovação Tecnológica, Mudança Técnica, Mudança Tecnológica, Evolução Tecnológica. Evitaremos expressões com conotação normativa como: Avanço Técnico ou Progresso Tecnológico porque, como ficará claro na seção que trata da Necessidade da Inovação, juízos de valor sobre este fenômeno são normalmente subjetivos. Não obstante, tais expressões quando aparecem no texto ou nas referências citadas, geralmente correspondem ao objeto aqui abordado, a Inovação.

Não é por acaso que, apesar do interesse que a Mudança Tecnológica recebe de disciplinas tão diversas como Política, Meio Ambiente, Ética, História,

³ Iniciamos com o conceito extraído de Schumpeter que é sucessivamente “reformado”, seguindo em linhas gerais os passos de Parayil (1999), que dedicou um volume à conceituação da mudança técnica, apoiando-se em historiadores da tecnologia e sociólogos. Intercalamos, porém, novas etapas à “reforma” extraídas da Economia para chegar ao conceito que utilizaremos.

Sociologia e Economia em suas várias tradições⁴, não é trivial conceituar este fenômeno. Tampouco as diferenças de pontos de vista e objetivos entre os estudiosos são suficientes para justificar a dificuldade de definição. Exatamente porque a Inovação é considerada fator constituinte profundo e causa dos processos de que se ocupam tantas ciências, que se torna difícil separá-la dos outros fatores, causas e processos.

Contribui também para a dificuldade de delimitação do conceito, a inegável iteratividade entre o desenrolar de tais processos e a produção e uso de inovações, a ponto de surgirem definições de Tecnologia como tudo aquilo que expande as capacidades naturais do homem e a hipótese de coevolução entre seres humanos e Tecnologia. Por mais estranha que esta ideia possa parecer aos olhos de um economista, atribui-se a ninguém menos que Marx, o *insight* original sobre a hipótese de que a percebida descontinuidade entre homem e tecnologia será superada, como foram as descontinuidades Cosmológica, por Galileu, biológica por Darwin e Psicológica por Freud⁵.

Mesmo sem conceituação precisa, a ideia de inovação e sua importância permeiam o pensamento econômico desde seus primórdios. Se para Adam Smith, a mudança organizacional materializada na divisão do trabalho⁶ é fator explicativo importante, em Marx o uso de novos artefatos tecnológicos é central. A tal ponto que uma frase sua: “O moinho manual nos deu a sociedade com o senhor feudal e o moinho a vapor nos deu a sociedade com o capitalista industrial” gerou controvérsia

⁴ (Parayil, 1999, p. 4)

⁵ Esta seria a “quarta descontinuidade” que dá nome ao artigo no qual Mazlish (1967) cita uma nota do capítulo XIII do Capital em que Marx compara os “órgãos produtivos do homem social”, isto é a tecnologia, máquinas e ferramentas, com os órgãos das plantas e animais, para justificar sua afirmação (MARX, 1996). Antes de Mazlish, em 1936, S. Colum Gilfillan, em seu influente *The Sociology of Invention*, afirmou que “qualquer invenção é um órgão biológico, no mesmo sentido que um ninho de pássaro é” (OGBURN, 1936). Em exemplo mais recente, o uso de telas de cristal líquido capacitivas, que por um lado viabilizaram a detecção de múltiplos toques simultâneos e o sucesso de mercado de aparelhos como o Iphone e Ipad da Apple, mas por outro não detectam diferenças de posição mais sutis como as interfaces resistivas mais antigas, foi associado à dificuldade de coordenação motora fina em crianças (NEWS.COM.AU, 2013).

⁶ Mesmo admitindo que o interesse de Smith (1996) seja puramente a mudança organizacional, em termos práticos tais mudanças normalmente estão associadas a novas técnicas e artefatos, em linha com nossa argumentação sobre a iteratividade dos processos, neste caso entre o surgimento de novos artefatos tecnológicos e novas formas de organização da produção. Ou, como alerta Rosenberg (2006) repercutindo Simon Kuznets, denominar uma inovação como de produto ou processo depende do ponto de vista adotado, visto que as últimas tipicamente envolvem equipamento ou maquinários novos.

sobre o suposto determinismo tecnológico em sua teoria⁷. Mas, apesar do interesse precoce, a temática da inovação parece ter saído do foco da literatura econômica por longo período, até Schumpeter restituir-lhe a importância, além de estabelecer o conceito, que serve de ponto de partida para o objetivo proposto para esta seção.

Schumpeter definiu inovação como a manifestação de uma ou mais de cinco alternativas: Introdução de um novo bem, ou de uma nova qualidade em um bem já existente; Introdução de um novo método de produção; Abertura de um novo mercado; Conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados ou estabelecimento de uma nova organização em qualquer indústria⁸. Alinhava estas diferentes possibilidades, a noção schumpeteriana de que inovação é uma invenção bem-sucedida, isto é, que permite a quem inova⁹ atingir seus objetivos econômicos. Em cada uma das cinco alternativas citadas, tal critério pode ser identificado. Indiretamente como nos casos de novo método de produção ou nova organização, onde o poder de mercado é obtido possivelmente pela redução de custos ou diretamente como na introdução de bem ou abertura de mercado¹⁰.

A conceituação schumpeteriana de inovação está na base de ampla literatura econômica sobre mudança técnica e deste próprio trabalho, mas, em que pese seu poder elucidativo para problemas econômicos bastante gerais, merece três delimitações para facilitar sua adequação a nossos propósitos mais modestos. As duas primeiras têm a ver com o entendimento de Tecnologia que adotamos, copiado de Giovanni Dosi, pelo qual Tecnologia é o conjunto de peças de conhecimento, tanto práticas (relacionadas a problemas e dispositivos concretos) quanto teóricas (mas aplicáveis praticamente embora não necessariamente já aplicadas), *know-how*, métodos, procedimentos, experiências de sucessos e falhas e também,

⁷ Tradução própria de “*the hand-mill gives you society with the feudal lord, the steam-mill, society with industrial capitalist*” (MARX, 1955, p. 49). Sobre a controvérsia, ver por exemplo o trabalho de Shaw (1979).

⁸ (SCHUMPETER, 1997)

⁹ O empreendedor ou a firma.

¹⁰ Novamente, o referencial teórico adotado é fundamental para a causalidade sugerida. Por exemplo, um novo processo de fabricação que reduza custos implica em aumento de poder de mercado porque a firma inovadora não é obrigada a repassar tal redução ao preço. Ao menos imediatamente, em virtude do caráter dinâmico do arcabouço considerado, ou mesmo indefinidamente, pelo seu distanciamento da hipótese de concorrência perfeita. Para uma excelente descrição de nosso referencial teórico, ver o texto de Baptista (2000).

naturalmente, dispositivos físicos e equipamentos¹¹. Já a terceira decorre da própria limitação, no campo econômico, das questões aqui abordadas, como vemos a seguir.

Então, primeiramente diremos que o conceito de inovação de Schumpeter abrange fenômenos que transcendem nossos objetivos - duas das cinco alternativas, “abertura de um novo mercado” e “nova fonte de matéria prima” não dependem necessariamente da descoberta ou aplicação de novas tecnologias, e por esta razão, não serão aqui abordadas. Da mesma forma, o “estabelecimento de nova organização” que não dependa da introdução de novas tecnologias está fora do escopo deste trabalho.

Em segundo lugar, tanto quanto possível restringiremos nosso foco à mudança das “peças de conhecimento” de Dosi, em detrimento a aspectos materiais explícitos no conceito de Schumpeter: bem, matéria-prima e firma. Não que uns existam sem os outros como esclarece a própria definição de tecnologia adotada, mas porque a ênfase em conhecimento e interação – e não em artefatos e atores– é mais adequada a nossos fins.

Em terceiro lugar, o conceito aqui esboçado será menos abrangente quanto ao critério de sucesso econômico para mudanças técnicas. Considerando o esforço inovativo como uma forma de competição, ou melhor, sua forma mais efetiva¹², devemos admitir que a motivação para empreender tal esforço tenha que ser a mesma para a competição em geral: a valorização do capital¹³. Já a valorização do capital depende em grande medida da realização de lucros extraordinários, isto é, maiores que a mera remuneração do capital baseada no custo de oportunidade em hipotético ambiente de concorrência perfeita. Lucros desta magnitude, por sua vez, dependem do poder de mercado¹⁴. Desta forma, uma inovação que amplie o poder de mercado da firma possibilita a valorização do

¹¹ Tradução própria de: ‘...set of pieces of knowledge, both directly “practical” (related to concrete problems and devices) and “theoretical” (but practically applicable although not necessarily already applied), know-how, methods, procedures, experience of successes and failures and also, of course, physical devices and equipment.’ (DOSI, 1982, pp. 151-152).

¹² (SCHUMPETER, 1994).

¹³ (POSSAS, 1993).

¹⁴ Ou, nas palavras de Silva (2003), da capacidade de estabelecer monopólios temporários.

capital, mas não a garante - outros fatores, como competências gerenciais e estrutura de capital podem interferir e mesmo anular os efeitos da inovação. Por isso, restringiremos o critério de sucesso inovativo à obtenção de poder de mercado, embora este não passe de um passo intermediário e insuficiente para a valorização do capital, cuja análise está além de nossos objetivos. Mas, mesmo este critério limitado será suspenso vez por outra para não excluir da análise “invenções fracassadas” que, apesar de não trazerem benefício econômico imediato, modificam a base de conhecimento técnico em seu processo de criação.

Assim, a ideia de sucesso, que distingue a inovação da invenção e o empreendedor do inventor em Schumpeter, não será abandonada, apenas limitada, entre outras razões por ser a ponta visível do fio que tentamos seguir até o centro da meada do processo inovativo. Porém, se até aqui ajudou-nos o Grande Amante Vienense, ao decretar que o objetivo desta seção está “fora do domínio da teoria econômica”,¹⁵ obriga-nos a buscar outro caminho. Para prosseguir, voltemo-nos então à visão dominante a partir da 2ª Guerra, mas cujas raízes remontam à origem da civilização ocidental¹⁶, pela qual a Mudança Técnica é consequência da pesquisa científica. Assim, a expansão do entendimento da natureza logrado pelos cientistas terminaria por produzir, pelas mãos de outros e depois de tempo não especificado, as inovações que modificam nossa condição material.

Mas, Tecnologia não é ciência aplicada. Mudança técnica não é simplesmente a aplicação prática de descobertas científicas para obter lucros ou conquistar mercados. Quando ocorre, a inter-relação entre ciência e inovação é mais complexa que esta simples causalidade¹⁷. Muito antes do surgimento de qualquer

¹⁵ (SCHUMPETER, 1997, p. 30) *apud* (PEREZ, 2009, p. 185).

¹⁶ Este encadeamento, apresentado por Bush (1945) ficou famoso como modelo linear, assim como suas representações posteriores, estática (Ciência Básica – Ciência aplicada) e Dinâmica (Ciência Básica -> Ciência Aplicada -> Desenvolvimento -> Produção). Embora introduzido para orientar os investimentos dos EUA em Ciência e Tecnologia após a 2ª Guerra, alinha-se não só ao ideal de investigação racional pura dos filósofos gregos, mas também com a institucionalidade do ensino e pesquisa na Europa e nos EUA a partir do século XVIII (STOKES, 2005).

¹⁷ Fagerberg (2005) aponta interações e realimentações no sentido contrário ao fluxo normal da versão dinâmica do modelo linear. Não que para prevalecer ideias irrealistas precisem de justificativa, mas Stokes (2005) ensina que justamente porque a institucionalidade proposta por Bush (1945) foi rejeitada, o paradigma introduzido neste mesmo relatório, talvez como argumentação intermediária, vingou como estratégia de defesa do financiamento público à pesquisa científica básica.

atividade intelectual que possa ser, ainda que remotamente, associada à investigação científica, a humanidade já utilizava e desenvolvia tecnologia. Uma defesa de que pesquisa científica é condição necessária para inovação tecnológica seria não só contra factual como carente de justificativa teórica¹⁸. Em algumas áreas é possível até imaginar algum antagonismo entre ciência e tecnologia, onde aquela impõe limites ao que pode ser alcançado por esta. A temperatura mínima e a velocidade máxima que um objeto pode atingir, ou a eficiência máxima de um motor a combustão, são exemplos deste tipo de limitação.¹⁹

Embora a interdependência entre Ciência e Tecnologia tenha aumentado ao longo do século XX,²⁰ mesmo em setores intensivos em ciência como o aeronáutico, não faltam exemplos de inovações técnicas autônomas em relação ao desenvolvimento científico.²¹ Além da separação “de fato” entre as evoluções históricas da Ciência e da Tecnologia, argumenta-se que estas se desenvolvem de forma intrinsecamente distinta: o desenvolvimento científico seria disruptivo enquanto o tecnológico cumulativo. A Ciência avançaria por meio de revoluções enquanto a Tecnologia através da acumulação de pequenas adições à vasta base de conhecimento técnico existente.²²

É justamente o caráter cumulativo do desenvolvimento tecnológico que lhe confere alguma previsibilidade. Os avanços não são aleatórios, a mudança técnica é um processo histórico. O caminho trilhado no desenvolvimento passado indica a direção dos avanços futuros, quer seja pela especialização dos conhecimentos e habilidades do inovador, como pela cristalização da rede de usuários, fornecedores, produtos e serviços complementares. A ponto da evolução de algumas tecnologias ficar irremediavelmente aprisionada ao caminho

¹⁸ (PARAYIL, 1999, p. 2). Já Stokes (2005, p. 41) afirma que “em todos os séculos anteriores a este (XX), a ideia que a tecnologia tem por base a ciência seria simplesmente falsa [...] Contudo, até nos dias atuais, uma grande quantidade de inovação tecnológica tem sido produzida sem o estímulo de avanços da Ciência.”

¹⁹ Zero Kelvin (cerca de - 273 °C), a velocidade a luz no vácuo (cerca de 300.000.000 m/s) e eficiência teórica do ciclo de Carnot, respectivamente. Por esta razão, não causa espanto que a cultura popular tenha produzido obras “denunciando” o papel proibitivo da ciência em relação à tecnologia e, portanto, às próprias possibilidades do ser humano, como por exemplo, fazem Pauwels e Bergier (1977, p. 17).

²⁰ (PARAYIL, 1999, p.2) ou a partir da Segunda Revolução Industrial conforme afirma Stokes (2005, p. 41).

²¹ (VINCENTI, 1984)

²² A ideia de paradigmas científicos e revoluções é introduzida por Kuhn (1996) enquanto a cumulatividade da tecnologia é destacada em vários trabalhos, como os de Usher (1929), Basalla (1988) e Hargadon (2003).

escolhido.²³ Já na investigação científica, a cumulatividade não determinaria tanto a direção do avanço, devido à natureza exploratória da atividade, à menor pressão por resultados com valor comercial²⁴ ou a tempos suficientemente dilatados para que, como dizia Max Planck, os cientistas morram e sejam substituídos por uma nova geração mais aberta a novas verdades científicas.²⁵

Surge claramente aqui mais uma aresta que merece ser aparada: considerar a continuidade / cumulatividade como fator de diferenciação entre Ciência e Tecnologia parece ignorar que esta frequentemente se apresenta como descontínua. Disso tratam a Inovação Radical que detona a Destruição Criadora, as mudanças de Paradigma que possibilitam novas Trajetórias Tecnológicas e as próprias Revoluções Tecnológicas.²⁶ Para tanto, usaremos duas “limas conceituais”.

A primeira consiste em reconhecer simplesmente que a continuidade não pode ser a pedra de toque na distinção entre Ciência e Tecnologia.²⁷ A Mudança Técnica não é isenta de rupturas. Nem podemos ignorar que entre grandes saltos do entendimento científico há forçosamente um caminhar miúdo, ainda que sobre os ombros de gigantes.²⁸

²³ Ver os conceitos *path-dependency* e *lock-in effect* desenvolvidos por David (1985) e Arthur (1990).

²⁴ A autonomia da Pesquisa Básica com relação à busca de resultados práticos como valor em si mesmo é parte importante do paradigma vigente que Stokes (2005) busca superar.

²⁵ “*A new scientific truth does not triumph by convincing its opponents and making them see the light, but rather because its opponents eventually die, and a new generation grows up that is familiar with it*” (KUHN, 1996).

²⁶ As trajetórias tecnológicas são compatíveis com a paulatina acumulação de conhecimento técnico, mas são condicionadas pelo paradigma tecnológico vigente. Tal condicionamento só é rompido com uma quebra de paradigma conforme os conceitos de paradigma e trajetória tecnológicos que são introduzidos em Dosi (1982). Já a noção de Revolução Tecnológica é desenvolvida por Perez (2009) que lista cinco delas: 1) Revolução Industrial; 2) Era do Aço e Ferrovias; 3) Era da Eletricidade e Construção Pesada; 4) Era do Petróleo, Automóvel e Produção em Massa; 5) Era da Informação e Telecomunicação.

²⁷ Contrariando assim o ponto de vista expresso por Parayil (1999), principal referência desta seção. Talvez este autor enxergasse no modelo linear de Bush (1945), que queria confrontar, a explicação “natural” para a descontinuidade da Mudança Técnica: a inovação radical que detona a destruição criadora, bem como a mudança de paradigma que abre um novo universo de trajetórias tecnológicas, seriam filhas diretas da descoberta científica e por isso herdariam dela o caráter disruptivo. Para realçar seu desacordo com tal causalidade, preferiu carregar nas tintas, afirmando que a mudança técnica é sempre contínua, embora certamente não ignorasse as revoluções tecnológicas a seu redor. Apenas procedeu como os que criam modelos, simplificando aspectos que não contribuem para o argumento, como aliás fez também o próprio Bush, que sabia ser a relação entre Ciência e Tecnologia muito mais complexa que seu famoso modelo (STOKES, 2005).

²⁸ A frase de Isaac Newton “*If I have seen further, it is by standing on the shoulders of giants.*”, imortalizou esta ideia que se enquadra no conceito de Ciência Normal desenvolvido em Kuhn (1996).

A segunda trata de afirmar que, embora não o seja sempre, a Evolução Tecnológica é predominantemente contínua²⁹ e muitas mudanças vêm à tona aparentando descontinuidade, mas decorrem de vagarosos processos submersos. Neste sentido, uma visão evolucionista da mudança técnica vem bem a calhar. Não requer muita imaginação associar as diferentes trajetórias em um mesmo paradigma, ou inovações incrementais que sucedem uma inovação radical, às mutações aleatórias selecionadas pelo ambiente na teoria da evolução biológica³⁰. Mas, o “surgimento” de uma inovação radical ou novo paradigma também pode ser explicado pela mesma metáfora, sem descontinuidade “real”. Basta considerar que, longe dos olhos, oculto pelo paradigma vigente, outras “espécies” evoluem. Podem ser de origem totalmente distinta ou ramos do mesmo tronco evolutivo da tecnologia predominante, mas que se separaram há muito tempo. Mudanças constantes no ambiente de seleção (mercado, instituições, cultura ou tecnologias complementares) e internas à própria tecnologia alternativa podem acelerar sua evolução a ponto de “desafiar” a tecnologia dominante, quebrando o paradigma vigente e fazendo brotar uma inovação radical. Visto desta forma, descontinuidades aparentes são produto da contínua acumulação de conhecimento técnico e seleção.³¹ Por exemplo, na Terceira Revolução Tecnológica, a Era do Aço inicia-se - não com a descoberta do material que já era produzido há muitos séculos - mas com a inauguração de um novo processo para sua fabricação que, entretanto, parece descender diretamente do método utilizado na China oito séculos antes.³²

²⁹ A argumentação em Rosenberg (2006, p. 21) defende que Schumpeter punha ênfase na descontinuidade enquanto Marx e Usher na continuidade, porque o primeiro preocupava-se mais com as consequências do que com as origens da inovação.

³⁰ Não estamos sugerindo o uso de analogia biológica como ferramenta para o entendimento da Mudança Técnica a partir do conhecimento em Biologia. Nos termos da distinção que faz Penrose (1952, p. 807), a analogia aqui empregada é puramente metafórica e visa apenas facilitar a argumentação. Com efeito, o mesmo raciocínio, ainda que mais longo e aborrecido, poderia ser desenvolvido sem auxílio da metáfora.

³¹ Insistindo em negar a descontinuidade, Parayil (1999) utiliza argumentos de caráter funcional. Segundo ele, uma inovação que desempenha a mesma função de um artefato existente não constitui uma inovação radical. Usa o exemplo do arado manual *versus* o puxado por trator como exemplos de artefatos com a mesma função ao analisar a “Revolução Verde” na Índia, quando o arado mecânico, associado a novas sementes e outras técnicas desencadeou profundas implicações econômicas, sociais e geopolíticas.

³² O início da era do Aço, Eletricidade e Construção Pesada é marcado simbolicamente pela inauguração de uma usina de aço em Pittsburgh, PA, EUA produzindo pelo processo Bessemer (PEREZ, 2009). Tal processo, que se caracteriza pela injeção de ar à massa de material fundente de forma a queimar impurezas e o excesso de carbono, teria ao menos um ancestral direto na China do século XI (HARTWELL, 1966).

O Darwinismo é uma ideia poderosa: sutis mutações aleatórias são selecionadas pelo ambiente e se propagam através da reprodução. Extrapolá-la para o estudo da inovação técnica não é nenhuma novidade. Já no século XIX o teólogo norueguês Eilert Sundt aplicou a ideia no estudo da mudança técnica na construção naval.³³ Como os barcos eram construídos artesanalmente, duas embarcações nunca eram exatamente iguais. Diferenças qualitativas observadas pelos marinheiros, uma vez atribuídas às características incorporadas involuntariamente pelos construtores, tornavam-se “requisitos” construtivos para a próxima geração de barcos. Como na biologia,³⁴ um processo cria variedade aleatoriamente enquanto o outro reduz, retirando do sistema os indivíduos menos adequados a um critério externo, explicando assim a diversidade da vida na terra e nos libertando da necessidade de direção e propósito para a criação.

Mas, se em Biologia desconsiderar qualquer propósito subjacente à evolução, já que não é necessário à explicação nem pode ser empiricamente observado, é a atitude mais “científica”, em Economia, particularmente no estudo da inovação, uma teoria que ignore a intencionalidade empiricamente observável dos agentes, tanto na produção de variabilidade quanto na seleção de alternativas, não dará conta de explicar o nascimento e sobrevivência de inovações, não servindo, portanto, a nossos objetivos.³⁵

Para incorporar a intencionalidade ao conceito de inovação, é possível enxergar o processo de inovação técnica essencialmente como uma atividade de solução de problemas. Como caricatura, podemos imaginar Thomas Edison inventando a lâmpada elétrica para resolver os problemas da iluminação a gás:

³³ (PARAYIL, 1999, pp. 48-49).

³⁴ A analogia biológica de Sundt, contemporâneo de Darwin, é particularmente feliz porque as modificações no *design* eram, a princípio, não intencionais. Mas, esta não é a regra, nem em Economia, muito menos na Mudança Técnica. Tanto que mais recentemente surgiu o conceito de Darwinismo Universal ou Generalizado como fundamento ontológico para explicar qualquer sistema evolucionário. Seus princípios gerais: Variação, Herança e Seleção devem ser especificados de acordo com o campo de estudo particular. Por exemplo, a variação é aleatória em Biologia, mas não em Economia (LUZ; FRACALANZA, 2011).

³⁵ Em sua crítica às analogias biológicas em geral, Penrose (1952) dedica uma seção à “Análise de Viabilidade”, modelo similar ao da seleção natural, onde aponta que a ausência da motivação humana na Variação e Seleção condena a teoria à inutilidade. É certo, como aponta a autora, que as inovações, fonte de variação, têm forte componente intencional e que as firmas possuem capacidade de modificar o ambiente de seleção e efetivamente o fazem. Cabe acrescentar que tampouco a Herança é isenta de motivação via patente, segredo industrial ou transferência tecnológica.

transporte do combustível, fumaça, risco de incêndio, custo. Porém, a ideia é particularmente útil em discussões mais abrangentes, que transcendem o plano analítico empreendedor - firma – mercado. Nessa linha, a visão sistêmica da mudança técnica³⁶ considera seu universo de interesse a reunião de instituições técnicas e não técnicas para resolver determinado problema. O processo é dinâmico e iterativo – ao longo do caminho incorporam-se novas instituições e surgem novos problemas, que nesta tradição são chamados de saliências reversas.³⁷ Retomando o exemplo da iluminação, o principal problema que surgiu na fase de crescimento dos sistemas elétricos foi a perda de potência na transmissão. A superação desta saliência reversa se deu com a introdução de outra inovação, o transformador, e a seleção, dentre as tecnologias concorrentes, da compatível com esta inovação: a corrente alternada em detrimento da contínua.³⁸

A anomalia presumível, noção introduzida no estudo da história econômica da tecnologia aeronáutica, é uma forma semelhante de incorporar a dimensão de resolução intencional de problemas ao conceito de inovação tecnológica. Por esta visão, ao observar-se o curso da evolução técnica é possível antever os obstáculos que surgirão. No caso específico que originou a ideia, à medida que a velocidade de voo aumentava, crescia mais rapidamente a velocidade da ponta da hélice, e em consequência a turbulência. Era possível então prever um obstáculo à evolução da indústria aeronáutica – a velocidade de voo seria limitada pela turbulência na ponta da hélice, ainda que os motores se tornassem cada vez

³⁶ Hughes (1983) vale-se da visão sistêmica para descrever a mudança técnica, tendo como foco analítico justamente o desenvolvimento do setor de geração, transmissão e distribuição elétrica. Segundo ele, o processo de inovação estaria dividido em 5 fases, cada uma com seus agentes relevantes e desafios próprios: 1ª) Invenção e desenvolvimento, onde os agentes principais são inventores-empresendedores, p. ex. Edison; 2ª) Transferência; 3ª) Crescimento, cujo desafio é vencer saliências reversas, p. ex. perdas na transmissão; 4ª) Momentum, que tem direção própria e objetivo de crescimento, p. ex. constituir monopólio natural; 5ª) Maturidade, quando os problemas deixam de ser técnicos e passam a organizacionais e financeiros.

³⁷ O termo é construído por oposição às “características salientes” de Kuhn (1996).

³⁸ As perdas de potência ocorrem porque nenhum material conduz eletricidade perfeitamente, apresentando resistência. A potência perdida é proporcional ao comprimento do condutor e ao quadrado da intensidade da corrente. A expansão do sistema elétrico depende da transmissão de eletricidade para localidades mais remotas, aumentando consequentemente as perdas elétricas, a não ser que seja reduzida a intensidade da corrente elétrica necessária. Como a potência elétrica é o produto da corrente pela tensão, é possível entregar a mesma potência aumentando a tensão e reduzindo a corrente (e as perdas). É exatamente esta a função do transformador, elevar e reduzir tensões, mas seu funcionamento depende da produção de campo magnético variável, que só é possível com corrente alternada.

mais potentes. Em resposta a esta anomalia presumível surgiu uma inovação, o turbo-jato.³⁹

Entretanto, esta ideia de anomalia traz em si uma inadequação, justamente expressa pelo adjetivo que a qualifica. O que a torna presumível é a subordinação da Tecnologia em relação à Ciência. Ao observar a evolução da “ciência aeronáutica” seria possível perceber a tendência ao aumento da velocidade de voo e dela presumir o surgimento da anomalia. Conforme já exposto, não é possível assumir tal subordinação. Além do mais, esta linha de pensamento tende a valorizar os determinantes técnicos em detrimento dos econômicos.⁴⁰ A ela contrapomos outra conceituação de mudança técnica, que nasceu tendo a análise da evolução da bicicleta como foco empírico, e considera que os requisitos técnicos são interpretados socialmente de forma flexível. Assim, dentro da visão de inovação técnica como resolução de problemas, a solução encontrada, ou fechamento, pode ser “não técnica”, podendo ser meramente retórica ou passar pela redefinição do problema original. Neste caso específico, o fechamento e estabilização de um *design* para a bicicleta se deu pela publicidade e convencimento dos grupos relevantes.⁴¹

Em resumo, a conceituação de inovação que será usada no restante deste texto exclui mudanças puramente organizacionais ou de mercado, é centrada nas mutações de conhecimento que podem ou não se manifestar através de novos artefatos e inclui mudanças não sancionadas pelo mercado. Estabelece que o processo inovativo não é mera aplicação da Ciência e guarda autonomia em relação à pesquisa científica, é cumulativo e por isso influenciado pelo passado, mas pode exibir descontinuidade, é evolutivo, intencional e condicionado economicamente, é

³⁹ Para narrativa completa, tanto da história quanto da teoria, ver o trabalho de Constant (1980).

⁴⁰ (PARAYIL, 1999, p. 30). No caso da introdução do turbo-jato, analisado por Constant (1980), os fatores econômicos, em particular o registro de patentes, não foram relevantes, mas tal conclusão não pode ser generalizada.

⁴¹ Esta linha de pesquisa em Sociologia é conhecida como *SCOT (Social Construct of Technology)*, foi formulada por Bijker, Hughes e Pinch (1989) em torno de 4 âncoras teóricas: 1ª) grupos relevantes; 2ª) flexibilidade interpretativa das características de *design*; 3ª) fechamento; e 4ª) estabilização. Como há mais de uma interpretação social, o fechamento e estabilização se dão por força dos interesses e ações dos grupos relevantes.

essencialmente a busca de solução para problema, que pode se dar tecnicamente ou não.⁴²

⁴² Esta conceituação de mudança tecnológica é baseada e muito semelhante à de Parayil (1999). Entretanto a original é diferente da aqui apresentada por duas razões: 1ª) não exclui de mudanças meramente organizacionais ou de mercado e 2ª) supõe que as mudanças técnicas são sempre contínuas, conforme notas anteriores.

1.2 Inovar não é preciso

*There are three principal ways to lose money: wine, women, and engineers. While the first two are more pleasant, the third is by far the more certain.*⁴³

Barão Rothschild

O cálculo capitalista, que conscientemente ou não, os agentes fazem antes de investir é forçosamente impreciso. Empreender é mais que arriscado, é incerto. Apostar o salário no “vermelho 27” e confiar no resultado da roleta para pagar as despesas do mês é um risco. Se haverá paz na Europa daqui a 70 anos é incerto.⁴⁴ Para o primeiro caso é possível estabelecer o conjunto de resultados possíveis e, se não determinar, ao menos assumir uma distribuição de probabilidades. Já para o segundo não há como sequer elencar o conjunto de eventos que podem ocorrer.⁴⁵ Não é uma questão de probabilidades, simplesmente não sabemos.

Com ainda mais razão, o esforço inovativo é incerto porque, além da incerteza econômica, está sujeito a incertezas técnicas e sociais, que têm a mesma natureza radical daquela. Por envolver estas três dimensões – Técnica, Econômica e Social, inovar é uma aventura perigosa e as empresas bem o sabem. Embora o noticiário econômico tente nos convencer do contrário, estatísticas mostram, que as empresas investem relativamente pouco em inovação em comparação com os governos.⁴⁶

Uma teoria válida sobre o fenômeno da mudança técnica deve ser simétrica, isto é, tão adequada para explicar as inovações bem-sucedidas quanto as

⁴³ Há três maneiras principais para perder dinheiro: vinho, mulheres e engenheiros. As duas primeiras são mais prazerosas, mas a terceira é de longe a mais garantida. Tradução própria.

⁴⁴ Keynes (1937, p. 213) usou os exemplos da roleta e de uma futura guerra na Europa para ilustrar o tipo de incerteza a que em geral estão sujeitos os processos econômicos.

⁴⁵ A distinção entre risco e incerteza nos termos apresentados foi estabelecida em Knight (1921, p. 233).

⁴⁶ O capital privado só costuma se apresentar nas fases mais “seguras” do desenvolvimento da inovação, após o governo ter investido nas fases mais arriscadas (MAZZUCATO, 2013, p. 48).

fracassadas.⁴⁷ Para o presente propósito que é identificar os papéis das incertezas Técnica, Econômica e Social, as tentativas malsucedidas podem ser até mais elucidativas. Felizmente não faltam exemplos de inovações que falharam em produzir retorno financeiro aos empreendedores. Ideias sensatas ou nem tanto, perseguidas por empreendedores individuais, como o motor diesel e a “cabra-aranha”, por governos, como o Concorde e o carro elétrico, ou departamentos de P&D de grandes empresas, como a ethernet e o mouse,⁴⁸ fracassaram em seus objetivos primários.

1.2.1 Incerteza Técnica

Do ponto de vista técnico, inovar é incerto porque se refere a algo novo, inédito, que nunca foi feito. Mesmo não atribuindo à Ciência o papel de liderança em relação à Tecnologia, concedemos que esta seja explicada e limitada pelos princípios daquela. Pouco ou nada sabemos sobre o “estoque” de conhecimento científico que pode ser descoberto e quais tecnologias tais descobertas sancionarão. Impossível, portanto, assumir alguma distribuição de probabilidade para as futuras descobertas científicas ou inovações tecnológicas. Química orgânica, biologia, genética e materiais são áreas de estudo com vasto conhecimento científico acumulado em longos anos de pesquisa, a ponto de empreendedores acreditarem que já estaria a seu alcance produzir materiais avançados de engenharia a partir de seres vivos. Uma empresa dos EUA modificou cabras geneticamente na tentativa de que elas produzissem proteínas similares à teia de aranha, com características mecânicas singulares como elevada elasticidade e resistência mecânica muitas

⁴⁷ Inspirado no axioma de David Bloor pelo qual o analista deve aderir à mesma explicação sociológica, em termos metodológicos, para qualquer crença científica, seja ela verdadeira ou não, Trevor Pinch afirma que o analista não deve cair na armadilha de que inovações bem-sucedidas são evidentes e não necessitam de explicação, enquanto as que falharam requerem algum tipo específico de explicação. A falha ou sucesso de um processo ou artefato é um *achievement* social e deve ser explicado em termos de fatores sociais (PARAYIL, 1999, p. 51).

⁴⁸ A tecnologia Ethernet para comunicação entre computadores e o dispositivo de entrada mouse foram desenvolvidos pelo PARC (Palo Alto Research Center), departamento da Xerox, e, apesar de terem sido amplamente adotados, não renderam frutos à corporação que as financiou (HARGADON, 2003).

vezes superior ao aço, mas que, pelo menos por ora, não se demonstrou tecnicamente possível.⁴⁹

Uma vez superada a ingênua imagem do inventor heroico,⁵⁰ torna-se claro que, como a maioria das atividades humanas coletivas, o desenvolvimento tecnológico pode se beneficiar do estabelecimento de rotinas. O processo inovativo pode ser sistematizado, planejado, profissionalizado, organizado e adequadamente financiado,⁵¹ mas seus resultados continuarão imprevisíveis. A sistematização do P&D simplesmente reduz a possibilidade de erros “evitáveis”, como por exemplo, “reinventar a roda” ou não testar adequadamente um protótipo, mas não tem como antever obstáculos característicos de caminhos nunca antes trilhados, nem a incerteza intrínseca ao processo ou a seus frutos.

1.2.2 Incerteza Econômica

À dimensão técnica há de se acrescentar a econômica que já sabemos ser incerta. A inovação, antes de mais nada, deve ser financiada. Mão de obra qualificada, laboratórios, equipamentos e experimentos devem ser custeados para que se possa tentar materializar uma ideia. Se vier à existência, a inovação precisará ser produzida em escala industrial e comercializada a um preço tal que, além de cobrir os custos operacionais e remunerar os investimentos na produção, deverá também remunerar os investimentos iniciais no processo inovativo.

Em cada uma destas etapas podemos identificar incertezas econômicas. Estimar quanto tempo e dinheiro se vai gastar até a obtenção de um protótipo é como prever a quantidade de combustível necessária em uma viagem sem destino

⁴⁹ O “produto” foi batizado de BioSteel desenvolvido pela Nexia Biotechnologies, empresa fundada em 1993, vendida em 2005 e que faliu em 2009 (HARGADON, 2003). As “cabras-aranha” remanescentes foram vendidas para o Museu de Agricultura do Canadá, em Ottawa.

⁵⁰ O principal argumento de Hargadon (2003) é que a inovação é uma atividade coletiva, de intermediação entre “mundos”. O gênio inventor solitário não passaria de um mito, explorado com finalidades de *marketing*.

⁵¹ A organização dos departamentos de P&D das grandes empresas foi abordada por Schumpeter e rotulada como Mark II em Schumpeter (1994), *The Creative Response in Economic History* (1947), *Theoretical Problems of economic Growth* (1947), *Economic Theory and Entrepreneurial History* (1949) e *The Historical Approach to the Analysis of Business Cycles* (1949) conforme Śledzik (2013), em oposição ao empreendedor heroico, ou Schumpeter Mark I em Schumpeter (1997).

certo.⁵² Do protótipo ao produto os obstáculos são de outra natureza, mas não menores. O produto deverá ser confiável no mundo real, com usuários reais. Deverá ser construído com materiais acessíveis e com técnicas e ferramentas disponíveis na indústria. Deverá agradar consumidores dispostos a pagar um preço adequado. Necessitará de canais de distribuição, *marketing* e publicidade. Dificilmente todas estas etapas serão executadas pelo empreendedor que inovou e eleger o que fazer e o que delegar, além de condicionada pelos recursos disponíveis, é uma decisão em meio à incerteza.

De todo este processo, duas variáveis merecem destaque: o lucro e o valor apropriado pelo inovador. O lucro porque determina o tamanho do bolo que será dividido entre o inovador e às demais firmas a que este delegar etapas do processo. Já o valor apropriado pelo inovador é a fatia do bolo que este consegue garantir para si, a recompensa econômica pelo esforço inovativo. A determinação de nenhuma das duas é óbvia, sobretudo antes da decisão de inovar.

O lucro depende fundamentalmente do custo dos insumos e do preço de venda do produto. O custo dos insumos pode variar radicalmente entre a decisão de inovar e chegada do produto ao mercado. A ideia de um avião de transporte supersônico de passageiros surgiu logo após a Segunda Grande Guerra. O Concorde começou a voar comercialmente em 1976, mas os dois choques do petróleo na mesma década elevaram os custos operacionais de forma que não poderia ser prevista em 1962, quando o acordo de cooperação entre França e Inglaterra foi assinado.⁵³ Mais recentemente, um fabricante norte-americano de painéis solares decidiu produzir industrialmente utilizando um material inovador em função de sua eficiência e do elevado custo do silício, utilizado em semicondutores e nos painéis fotovoltaicos tradicionais. Enquanto isto os fabricantes chineses, talvez pela distância à fronteira da tecnologia, investiram na produção a baixo custo e em

⁵² Claro que o destino da viagem pode estar circunscrito a uma região. Trajetórias em um paradigma tecnológico, mas sempre sobra incerteza e mesmo desvios relativamente pequenos podem ser fatais em indústrias maduras e competitivas.

⁵³ Conforme Sakade (2011). O autor destaca que além da dimensão econômica, questões socioambientais (ruído) e políticas (chegada do Partido Trabalhista ao poder na Inglaterra) foram determinantes para as dificuldades no desenvolvimento e o fim definitivo das operações em 2003.

grande escala de painéis com a tecnologia tradicional. A queda do preço do silício piorou a relação de custos do fabricante americano, que foi à falência.⁵⁴

Já o preço é ainda mais furtivo. Se o produto é inovador, não há um preço de referência a se considerar no momento da decisão de inovar, mas certamente existirão bens substitutos, com sorte qualitativamente inferiores, quando o produto for lançado. No caso do Concorde esperava-se, com protagonismo tecnológico europeu, inaugurar uma nova era no transporte de passageiros,⁵⁵ mas seria muito difícil prever quanto a mais os passageiros estariam dispostos a pagar para serem pioneiros nesta nova era em comparação à passagem de avião tradicional. Em outros casos, além da concorrência dos bens tradicionais, a inovação pode sofrer concorrência de bens substitutos desenvolvidos ao mesmo tempo ou pouco depois, de forma independente ou imitando a própria inovação,⁵⁶ não podendo o empreendedor usufruir de lucros extraordinários por tempo suficiente para recuperar seu investimento. Além do mais, inovadores ou imitadores retardatários normalmente aprendem com as dificuldades que os produtos pioneiros enfrentam ao chegar ao mercado, lançando por sua vez produtos aperfeiçoados. Acelerar o lançamento comercial da inovação e manter segredo durante o desenvolvimento são duas estratégias óbvias, mas contraditórias. Delegar etapas, como a produção, a empresas especializadas encurta o caminho até o consumidor, mas força o compartilhamento da ideia, o que às vezes faz germinar competidores.⁵⁷

Além de favorecer o aparecimento de competidores, ao contar com agentes externos para executar algumas das etapas para lançar-se ao mercado, nosso empreendedor-inovador deverá se preocupar ainda em como se apropriar de uma porção adequada do lucro gerado. Apóstolos do mercado eficiente argumentarão que tanto o problema da imitação quanto da apropriabilidade são

⁵⁴ A Solyndra desenvolveu o processo industrial para fabricação de painéis fotovoltaicos em Cu-In-Ga-Se₂, ao invés do tradicional C-Si usado pelos chineses (LAZONICK; HOPKINS, 2011). Além da competição chinesa, o destino da empresa foi selado pela impaciência do *venture capital* em obter resultados financeiros.

⁵⁵ (SAKADE, 2011).

⁵⁶ Que certamente representa uma trajetória menos incerta do que o pioneirismo, constituindo a Vantagem do Atraso, tradução própria de "*The advantage of backwardness*" (LIN; TREICHEL, 2014, p. 73).

⁵⁷ Como por exemplo, na indústria de computadores pessoais, fabricantes terceirizados como Acer e Asus passaram a comercializar produtos com marcas próprias e concorrer com seus contratantes.

sintomas de falhas de mercado,⁵⁸ e mais ainda, que estas podem ser remendadas: regras de proteção intelectual, como patentes, que assegurem a justa remuneração a quem inovou. Sem discutir se o remédio não mata o paciente, isto é, se este tipo de instrumento não inibe a inovação, salientamos apenas que nem sempre ameniza os sintomas. Se um artefato é ou não baseado em uma ideia protegida legalmente muitas vezes é difícil de determinar e frequentemente acaba sendo objeto de disputa judicial,⁵⁹ e mais ainda a duração temporal adequada para a proteção, que dependeria de cada mudança técnica, mas deve ser definida antes de percorrido o impreciso e imprevisível caminho do laboratório ao mercado.

Há melhor exemplo de inovação tecnológica que o motor de Rudolf Diesel? Ele identificou claramente um problema relevante - a elevada ineficiência dos motores a vapor. Em 1885, poucos anos após a invenção do pouco confiável motor à gasolina,⁶⁰ concebeu uma solução técnica tão apropriada ao problema, que segue insuperável há mais de um século, e sem perspectiva de substituição, em aplicações que requerem alta potência e confiabilidade como geração elétrica, caminhões e navios.⁶¹ Além de ser engenheiro brilhante e criativo, Diesel tinha experiência prática como executivo de grande grupo industrial.⁶² Foi precavido, patenteou sua invenção em vários países como a Alemanha e os EUA. Não subestimou as dificuldades de fabricação e testes e recrutou a MAN,⁶³ grande firma especializada para esta etapa. Nem as de difusão e apropriação: concebeu arrojado esquema de *marketing* tecnológico pelo qual licenciava seu projeto, enviava

⁵⁸ O conceito de falha de mercado é abordado com um pouco mais de detalhe em seção específica do capítulo II.

⁵⁹ Batalhas judiciais envolvendo patentes são recorrentes, consumiam energia e recursos dos inovadores no tempo dos irmãos Wright e continuam a envolver gigantes atuais como Apple e Samsung (LOHR, 2012).

⁶⁰ “Atualmente não é fácil imaginar a dificuldade de aprender a ligar, dirigir e manter um automóvel. Não somente porque o processo em si era complicado, mas porque se começava do zero. As crianças de hoje respiram a teoria, hábitos e idiossincrasias do motor a combustão interna em seus berços, mas naquela época você partia da crença pura de que simplesmente não funcionaria, e às vezes você acertava. Para ligar um carro moderno você só faz duas coisas, gira a chave e aciona a partida. Todo o resto é automático. O Processo costumava ser mais complicado. Requeria não apenas uma boa memória, um braço forte, um temperamento angelical e uma esperança cega, mas também alguma experiência em magia, tanto que alguém prestes a girar a manivela de um Modelo T poderia ser visto cuspidando no chão e recitando encantamentos.” (STEINBECK, 1986, p. 266). Tradução própria.

⁶¹ Para aplicações de elevada potência e custo, turbinas a gás e a vapor são atualmente alternativas.

⁶² A Linde, fundada em 1879 e importante até o presente.

⁶³ Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, fundada em 1758 é nos dias atuais grande grupo industrial multinacional.

engenheiros para auxiliar a construção e devolvia o dinheiro se não funcionasse. Talvez somente o *timing* não tenha sido adequado, o motor ainda era muito grande e pesado e a devolução das licenças pelos primeiros clientes levou Diesel à falência. Faltava aperfeiçoar a invenção, como fez a própria MAN, assim que a patente expirou. Diesel se suicidou em seguida.⁶⁴

1.2.3 Incerteza Social

Mais do que a dúvida quanto ao preço que alcançará, se a inovação for radical, é difícil prever sequer se haverá alguma demanda. Um produto ou serviço radicalmente novo para ser bem-sucedido deve criar um novo mercado, cujo tamanho é naturalmente incerto⁶⁵. Conta uma famosa anedota que quando a IBM construiu seu primeiro computador, seu *CEO* Thomas Watson teria dito que a máquina era tão poderosa que atenderia toda a necessidade existente por cálculos numéricos, de forma que não seria preciso construir outra.⁶⁶

A dificuldade em estimar o tamanho do novo mercado – se é que existirá – pode ser associada ao caráter coevolutivo da mudança técnica, destacado na primeira seção. Para que uma inovação radical seja útil, os indivíduos da sociedade a qual ela se destina deverão desenvolver habilidades necessárias à sua utilização. Por outro lado, neste processo podem emergir usos não concebidos pelo inovador, criando um novo mercado, distinto do pretendido por quem inovou.

Mais difícil ainda se a mudança técnica for introduzida ou criar um mercado onde “a demanda cresce com a demanda⁶⁷”, que não é de forma alguma incomum. Os exemplos mais óbvios são os relacionados à comunicação: o número

⁶⁴ Conforme Bruno Latour em *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*, 1987 *apud* (PARAYIL, 1999).

⁶⁵ Devemos reconhecer, concordando com o argumento exposto pelo Prof. Caetano Penna durante a defesa deste trabalho, que a separação entre incertezas sociais e econômicas é arbitrária e que a seção anterior conseguiria abarcar também alguns dos casos desta seção, que poderia ater-se apenas a fatores que escapassem à lógica econômica, como os que recentemente condicionaram o desligamento das usinas atômicas alemãs, apesar de sua comprovada viabilidade econômica. Consideramos, entretanto, que a explicação dos casos apresentados nesta seção, embora não contrarie a teoria econômica, a transcende, já que depende de aspectos alheios a esta disciplina, não embarçando assim sua permanência na presente seção.

⁶⁶(VERSPAGEN, 2006). Embora seja possível encontrar outras versões pela qual Watson estimou em 5 computadores a demanda mundial e outras que atribuem a autoria da frase a outras pessoas.

⁶⁷ Fenômeno usualmente designando, em Economia, como Externalidade de Rede.

de linhas telefônicas já vendidas é fator crucial para a decisão do consumidor de contratar uma linha, assim como a popularidade de uma rede social para a adesão de um novo usuário. Contudo, efeito similar pode ser reconhecido em outros setores: maior oferta e menor custo dos serviços de manutenção costumam implicar em maior demanda por determinado bem de capital, que por sua vez tende a significar maior oferta e menor custo nos serviços de manutenção.

Só que não para por aí. A decisão de comprar ou não uma nova máquina que reduziria seu custo de produção será influenciada pela expectativa que o empresário possa ter sobre rápidos aperfeiçoamentos que ocorreriam no equipamento recém-criado, ou mesmo na tecnologia que atualmente utiliza em resposta ao desafio que surgiu. Da mesma forma, o atraso em incorporar componentes inovadores, mesmo que claramente superiores aos até então utilizados, pode ser benéfica por evitar defeitos iniciais e permitir aproveitamento das melhorias de desempenho que virão. Até quem vai comprar um bem de consumo deve decidir se adquire o modelo atual ou espera o próximo que será lançado, quer seja para obter um produto melhorado, quer seja para pagar menos pelo que ficará ultrapassado.⁶⁸

Em certo sentido, trata-se de um efeito de segunda ordem, por derivar não das incertezas com respeito ao sucesso no desenvolvimento ou à aceitação social da inovação, mas das expectativas que os agentes formam sobre a própria evolução tecnológica futura. Contudo, nem por isso é menos importante. Nos anos 1920, diante dos rápidos avanços nas três formas de propulsão naval (pistões a vapor, Diesel e Turbinas a vapor), armadores preferiram manter seus velhos e ineficientes motores. Já nos anos 1960, foi a vez da *US Steel*, mesmo admitindo que indubitavelmente o oxigênio se tornaria importante na fabricação do aço, postergar por vários anos a introdução da inovação.

Uma década antes, a inglesa *Havilland* ao lançar o primeiro avião a jato comercial propiciou surpreendentes e valiosos conhecimentos a seus concorrentes americanos e à própria Engenharia dos Materiais, mas só colheu ela mesma

⁶⁸ A ideia e os exemplos deste parágrafo e dos seguintes foram extraídas do capítulo 5 – Sobre Expectativas Tecnológicas de Rosenberg (2006).

prejuízos e catástrofes. A maior velocidade proporcionada pelo jato é uma vantagem fundamental nesse ramo, mas, como já se sabia, este tipo de propulsão é mais eficiente em altitudes elevadas, ao contrário do aparelho respiratório humano que precisa das maiores pressões encontradas em baixas altitudes. O *Comet*, que voou pela primeira vez em 1949, resolvia o problema pressurizando a cabine dos passageiros. O sucesso técnico e comercial parecia assegurado quando, em 1953 com já um ano de operação regular, três aeronaves partiram-se de forma inexplicável em pleno voo. Tão inexplicável que a aeronave foi retirada definitivamente de serviço, para testes e pesquisas. O que não sabia na época é que metais, como os usados na fuselagem, ao serem submetidos a esforços cíclicos, como os decorrentes da pressurização a cada voo, desenvolvem fissuras microscópicas, mesmo que tais esforços sejam muito inferiores às cargas estáticas ou dinâmicas capazes de danificar o material. Tais fissuras nascem minúsculas em pontos de concentração de tensão, como os cantos das grandes e características janelas quadradas do *Comet*, mas crescem cada vez mais rápido à medida que os ciclos se repetem, até provocar uma ruptura catastrófica normalmente após muitíssimos ciclos, como só pôde acontecer depois de meses de operação comercial intensa. Os longos testes empreendidos, além de levarem à revolucionária descoberta da Fadiga dos Materiais, deram tempo e conhecimento para que, ao voar em 1958, o remodelado *Comet IV* tivesse que enfrentar os maiores e mais velozes *Douglas DC8* e o *Boeing 707*, estes também com as pequenas janelas ovais hoje onipresentes.

Claro que muitas vezes as expectativas estão a favor do pioneirismo. Esta, aliás, seria a atitude mais sensata se a inovação fosse considerada como descontínua de forma que o inovador auferisse lucros anormalmente elevados enquanto não é alcançado.⁶⁹ Daí a pressa em ser o primeiro a lançar celular ou automóvel com uma nova característica. Por isso também fabricantes de insulina de origem animal decidiram suspender avanços em seu produto por acreditar que uma nova opção, sintética, estava próxima. Igualmente, fabricantes de armamento

⁶⁹ Rosenberg (2006, p. 169) aponta a ênfase na descontinuidade como uma dificuldade no conceito de inovação de Schumpeter. O conceito de Mudança Técnica que elaboramos na primeira seção deste capítulo a considera predominantemente contínua, mas não descarta a descontinuidade como faz Parayil (1999).

costumam investir no processo de fabricação antes mesmo do novo produto estar desenvolvido, arcando com eventuais perdas advindas da antecipação.

Paradoxalmente, o avanço rápido da tecnologia pode levar a taxas de adoção e difusão lentas, e *vice-versa*. É irracional investir em algo que se espera que seja tornado obsoleto rapidamente, ao passo que a estabilidade no *design* é racionalmente interpretada como a proximidade ao limite da tecnologia e consequentemente como investimento que não será facilmente sobrepujado por outras inovações.

As questões que tratamos aqui não se referem, como na seção anterior, à incerteza econômica que aflige a companhia telefônica na hora de decidir competir em uma região, ou o fabricante de máquinas quando resolve se acrescenta à sua linha equipamento que ainda não produz. Interessa agora o tipo de incerteza que condicionou a recusa da *Western Union* em comprar a patente do telefone de Graham Bell por meros cem mil dólares⁷⁰ ou a aposta de mais de 57 milhões de dólares que empregados do *Yahoo* e a *Sequoia Capital* fizeram no *WhatsApp*⁷¹, ou ainda a cadeia de decisões que fez com que a Kodak sucumbisse diante da fotografia digital que ela mesma inventou,⁷² que é fundamentalmente social.

⁷⁰ Em 1876, conforme Fenster (2006).

⁷¹ Que foi vendido por 19 bilhões de dólares (OLSON, 2014).

⁷² Além da câmera digital em 1975, a Kodak desenvolveu várias outras inovações relacionadas ao processamento digital de imagens, mas, aparentemente não soube tirar proveito das tecnologias que revolucionariam o mercado onde reinava absoluta (LUCAS; GOH, 2009).

1.3 Inovar é preciso

*The world needs wannabe 's.
Oh the world loves wannabe 's.
So let's get some more wannabe 's.
And (Hey! Hey!) do that brand new
thing!*
The Offspring

Embora tenha se apresentado já na aurora do pensamento econômico, em Adam Smith, a preocupação com tecnologia foi esporádica e periférica: voltou à cena na Grande Maquinaria de Marx e só uma vez foi protagonista, em Schumpeter, como motor das oscilações econômicas. Contudo, nesta época as atenções mesmerizadas pela grande depressão se voltavam para as ideias de Keynes, que ofereciam outra classe de explicação para as flutuações.⁷³ De forma que Schumpeter, assim como Marx, foi deixado à margem do pensamento *mainstream*, que ironicamente trouxe a mudança técnica novamente à ribalta, ainda que como coadjuvante que rouba uma cena que originalmente buscava narrar as vicissitudes da taxa de crescimento econômico.

Não tratamos da abordagem *mainstream* na seção anterior porque esta em nada contribuiria para o conceito de mudança técnica que buscamos delimitar. Por outro lado, tal abordagem, ainda que de maneira torta, aponta a necessidade econômica da inovação, que é exatamente o tema desta seção, e por isto merece aqui algumas linhas.

1.3.1 *Raciocínio errado / Resposta certa*

A reestreia da inovação no âmbito do pensamento econômico, agora no *mainstream*, ocorreu nos anos 1950, através de Robert Solow que elaborou modelo

⁷³ Schumpeter e Keynes foram contemporâneos, mas ocuparam-se de fenômenos com durações muito diferentes. Enquanto a explicação daquele para a ocorrência de ciclos econômicos centra-se na inovação e consequente destruição criadora, a deste atribui à demanda efetiva e suas flutuações o papel primordial. Discutir porque uma teoria obteve mais atenção que outra está além de nossos propósitos, mas as duas não são de forma alguma incompatíveis como argumenta Baptista (2000).

matemático pelo qual, como em anteriores,⁷⁴ o crescimento econômico seria explicado pela quantidade de capital e de trabalho aplicadas em uma economia. A novidade foi a estabilidade do sistema: a taxa de crescimento calculada converge para uma taxa finita, em uma ampla faixa de valores para os parâmetros do modelo. Livrou-se assim da incômoda sensibilidade de modelos anteriores a parâmetros como a taxa de poupança que, se não cravados em valores críticos,⁷⁵ derrubavam o sistema do “fio da navalha” do crescimento finito, descambando para o desemprego extremo ou inflação descontrolada.

Solow percebeu que esta instabilidade era fruto de uma premissa: a combinação dos fatores de produção em proporções fixas. Relaxou tal premissa ao custo de introduzir outra: a possibilidade de livre substituição de capital por trabalho, ou seja, a função de produção agregada.⁷⁶ Com isto, obteve os resultados que desejava e que, em todo caso, se pareciam mais com a realidade. Ao final propõe extensões ao modelo, de forma a considerar possibilidades deixadas de lado, como incidência de impostos, mudança da taxa de crescimento populacional e da oferta de trabalho, da taxa de poupança e o próprio progresso técnico.⁷⁷

A abordagem sistêmica é uma ferramenta poderosa: encarar entidades complexas como “caixas pretas” que simplesmente transformam entradas em saídas de acordo com determinada função de transferência que as define completamente evita o entendimento da geralmente complicada mecânica que preside seu funcionamento interno, já dissecado e traduzido na referida função por especialistas teóricos e/ou empíricos. Torna o comportamento dinâmico do objeto, produto de sua interação com o ambiente ou outras “caixas pretas”, facilmente assimilável ao intelecto.

⁷⁴ Solow (1956) dialoga explicitamente com o modelo de Harrod-Domar.

⁷⁵ Além da taxa de poupança, no modelo de Harrod-Domar são críticas a taxa de crescimento da população e a relação capital / produto (SOLOW, 1956).

⁷⁶ Genericamente na forma $Y = F(K, L)$ onde Y é a produção e K, L são capital e trabalho respectivamente, os únicos fatores de produção. Completam o sistema duas outras expressões de premissas neoclássicas: taxa de poupança constante indutora do investimento $\dot{K} = sY$ e pleno emprego, associado a crescimento populacional constante, $L = L_0 e^{nt}$ (SOLOW, 1956).

⁷⁷ A função de produção passa a ser $Y = A(t)F(K, L)$, onde A é o multiplicador relacionado ao progresso técnico (SOLOW, 1956).

Extrapolar tal abordagem para a descrição da firma é quase natural, sobretudo para economistas ávidos por modelos matemáticos capazes de emprestar a seu ofício elegância e formalismo característicos das equações da física. A “função de produção”, a exemplo da de transferência, reduz a firma a uma “caixa preta” que transforma entradas (trabalho, capital, insumos) em produto. Se o interesse é o crescimento econômico de uma economia como um todo, é preciso agregar as funções de produção de todas as firmas desta economia. Para tanto, as entradas destas funções devem ser comuns: capital e trabalho, bem como as saídas: um único produto homogêneo. Assim, chega-se a uma função de produção agregada como a originalmente usada por Solow.

Uma breve visita a qualquer fábrica mostra que assumir uma função de produção com livre substituição entre capital e trabalho não é em nada mais realista que a velha proporção fixa entre os fatores. Ainda que a tecnologia disponível permita a produção de uma mesma quantidade de produto com diferentes combinações de fatores, estas seriam apenas posições teóricas de equilíbrio e não deslocamentos sobre a função de produção. Como dizia Joan Robinson: “O tempo é perpendicular ao quadro negro onde se desenha a curva”.⁷⁸

Além da não validade da função de produção para uma firma individual, outra crítica fundamental é a impossibilidade de agregação de quantidades de naturezas distintas. Se Solow reconhece legitimidade em premissas heterodoxas como rigidez salarial e preferência pela liquidez e esboça sua incorporação ao modelo,⁷⁹ para esta crítica, justamente por ser fundamental, reserva resposta fundamentalista: parte para o ataque. Alega que a função de produção agregada seria “apenas pouco menos legítima” que o consumo agregado e tão essencial para modelos de longo prazo quanto este para os de curto.⁸⁰ Reconhece enormes problemas na agregação de capital,⁸¹ sugerindo o uso funções de produção para casos específicos muito bem definidos e detalhados, mas misteriosamente espera que a função de produção agregada dê pistas sobre tais comportamentos

⁷⁸ “Time, so to say, is at right angles to the blackboard on which the curve is drawn.” (ROBINSON, 1971, p. 255).

⁷⁹ A última seção *Qualifications* do artigo de Solow (1956) é dedicada a analisar superficialmente as consequências da rigidez salarial, preferência pela liquidez, política fiscal e incerteza em seu modelo.

⁸⁰ (SOLOW, 1957).

⁸¹ Resposta de Solow (1955) à crítica de Robinson (1953).

particulares. Mais ainda, abrindo mão de formalismos matemáticos, declara que alguém pode “sentir-se atraído” ou não por este tipo de agregação, mas que sua adoção permite retirar conclusões úteis dos resultados econométricos.⁸² Esta argumentação introduz a aplicação do modelo à Economia Norte-Americana com excelente ajuste aos dados disponíveis (1909 a 1949), corroborando assim o que foi dito.⁸³

Inútil bombardear os alicerces do modelo. Isto já foi feito tempestivamente e de forma muito competente, mas a resposta foi a usual: suspenda temporariamente sua incredulidade e veja como este modelo matemático simples adere elegantemente à realidade dos dados! Ao invés, revisitaremos argumentos que criticam o modelo de Solow nos seus próprios termos, isto é, ignorando as dificuldades em suas suposições e mostrando que sua capacidade de se ajustar aos dados não tem nenhum significado econômico.

A partir da evidente identidade contábil entre a produção total e a soma de lucros e salários é possível derivar o modelo de Solow na forma Cobb-Douglas, desde que se assuma como hipótese que a participação dos fatores é aproximadamente constante e que a média ponderada das variações das taxas de lucro e salários não tenha correlação com a quantidade de capital por trabalhador. Em outras palavras, se o conjunto de dados atende a requisitos de participação e não correlação, como é o caso do conjunto usado por Solow, então o modelo não passa de outra forma de escrever uma identidade contábil verdadeira por definição.⁸⁴

⁸² “I would not try to justify what follows by calling on fancy theorems on aggregation and index numbers. Either this kind of aggregate economics appeals or it doesn't [...] If it does, I think one can draw some crude but useful conclusions from the results” (SOLOW, 1957).

⁸³ Para a função de produção tipo Cobb-Douglas e para a semilogarítmica, o coeficiente de correlação foi nada menos que 0,9996 (SOLOW, 1957).

⁸⁴ Reproduzindo os passos de Shaikh (1974):

$Q(t) \equiv W(t) + \Pi(t)$ que é a identidade contábil válida em qualquer instante t , onde Q é o produto, W a massa salarial, Π a massa de lucros. Sejam $K(t)$ e $L(t)$ dois números índices quaisquer, podemos escrever:

$q \equiv w + rk$, com $q \equiv Q/L$, $w \equiv W/L$, $k \equiv K/L$ e $r \equiv \Pi/K$. Derivando em relação ao tempo:

$\dot{q} = \dot{w} + r\dot{k} \equiv w \left(\frac{\dot{w}}{w} \right) + rk \left(\frac{\dot{r}}{r} \right) + rk \left(\frac{\dot{k}}{k} \right)$; dividindo todos os termos por q :

Por esta razão a fórmula de Solow ajusta-se muito bem a uma ampla gama de dados, mas não descreve de forma alguma as relações de produção. Uma forma de enxergar tal fato é tentar ajustar este tipo de função a um conjunto de dados fictício, não proveniente de economia alguma, mas que respeita as duas condições mencionadas, conforme ilustrado a seguir.

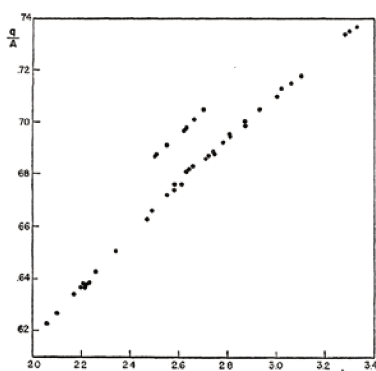


Gráfico elaborado a partir de dados relativos à economia norte-americana de 1909 a 1949.
Fonte: (SOLOW, 1957)

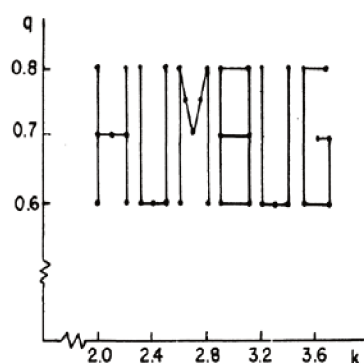


Gráfico elaborado a partir de dados fictícios. "Humbug" pode ser livremente traduzido como "Falso". Fonte: (SHAIKH, 1974).

Figura 1 - Solow x Shaikh

A equação de crescimento de Solow com progresso técnico neutro⁸⁵ e formato Cobb-Douglas ajusta-se tão bem aos dados falsos da direita quanto aos dados originais da esquerda, como era de se esperar.⁸⁶

$\frac{\dot{q}}{q} \equiv \frac{w}{q} \left(\frac{\dot{w}}{w} \right) + \frac{rk}{q} \left(\frac{\dot{r}}{r} \right) + \frac{rk}{q} \left(\frac{\dot{k}}{k} \right)$; chamando de β a participação dos lucros na produção total, constante por hipótese, então: $\beta \equiv rk/q$ e $1 - \beta \equiv w/q$, e substituindo chegamos à equação (2a) apresentada por Solow (1957):

$\frac{\dot{q}}{q} \equiv \frac{\dot{A}}{A} + \beta \frac{\dot{k}}{k}$; onde $\frac{\dot{A}}{A} \equiv [(1 - \beta) \dot{w}/w + \beta \dot{r}/r]$ que por hipótese não é correlacionado com k , e é, portanto só função do tempo. Integrando:

$q = A(t)k^\beta$ ou $Q = A(t)K^\beta L^{1-\beta}$ que correspondem à equação de Solow com crescimento tecnológico neutro e função de produção agregada tipo Cobb-Douglas.

⁸⁵ Que afeta igualmente os rendimentos de capital e trabalho, podendo ser escrito como um multiplicador da função de produção e que depende somente do tempo.

Aparentemente desconhecendo a tautologia algébrica de seu modelo, Solow concluiu que, para a economia norte-americana da primeira metade do século XX, pouco mais de um décimo dos ganhos de produtividade poderiam ser atribuídos à acumulação de capital. O “resíduo”, isto é, quase nove décimos, devia-se ao progresso técnico, que a propósito é neutro.⁸⁷ Já a aplicação de método similar aos Tigres Asiáticos na segunda metade do século XX sugere dinâmica diametralmente oposta: até sete décimos do crescimento seriam atribuíveis à pura e simples acumulação de capital e **não seria possível rejeitar a hipótese de que não houve progresso técnico durante o pós-guerra.**⁸⁸

Mas, quando se trata de perseguir miragens não devemos estranhar resultados disparatados.

Em 1934, para resolver a aparente violação do princípio da conservação da energia em uma reação atômica (decaimento beta), Enrico Fermi supôs a existência de uma partícula, o neutrino. Este artifício foi comparado ao de Solow,⁸⁹ que chamou o resíduo da regressão de progresso técnico. Mas, enquanto a existência do neutrino pôde ser experimentalmente comprovada, a álgebra mostrou que o chamado coeficiente de progresso técnico nada mais é que uma média ponderada das taxas de crescimento de salários e lucros. Porém, apesar de tudo, estas ideias são até hoje muito influentes e tiveram o mérito de colocar a inovação no centro do debate econômico, ainda que pelas razões erradas.

1.3.2 Crescer é Preciso?

Em que pesem as dificuldades intrínsecas à abordagem neoclássica que acabamos de descrever, dela seguiram esforços em associar Mudança Técnica a Crescimento Econômico, tanto por parte dos Neoclássicos como dos Evolucionistas. Aqueles buscam endogeneizar o progresso técnico, isto é, incluir no modelo variáveis econômicas explicativas para o coeficiente técnico, antes residual.

⁸⁶ O coeficiente de correlação no segundo caso é 0,9964 (SHAIKH, 1974).

⁸⁷ (SOLOW, 1957)

⁸⁸ (KIM; LAU, 1994).

⁸⁹ (NELSON; WINTER, 1982, p. 197).

Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento e em educação e número de patentes concedidas são exemplos do tipo de variável causal adotada.⁹⁰ Já estes, também chamados de neoschumpeterianos, indo além, buscam explicações mais realistas que ensejam abordagens variadas. Algumas delas de cunho histórico e apreciativo e outras formais, porém com modelos mais complexos e micro fundados que seus pares *mainstream*.⁹¹

As duas linhas da literatura divergem quanto às conclusões básicas, como por exemplo, à tendência ou não da renda *per capita* dos países periféricos alcançar a dos países ricos, em consequência de cada uma supor um mecanismo interno diferente para relacionar mudança técnica a crescimento econômico. Talvez fosse mais justo dizer que enquanto a tradição do *New Growth* não especifica mecanismo algum, apenas incorpora novas variáveis independentes ao modelo, a neoschumpeteriana especifica modelos variados, dependendo dos aspectos particulares que se pretende analisar.

Mas existem também ao menos duas semelhanças entre a abordagem *mainstream* e a evolucionista. A primeira é que, em geral, ambas saltam por cima da inovação em si, associando crescimento econômico diretamente a fatores que causariam inovação,⁹² como investimento em P&D ou interconexão entre firmas e instituições de pesquisa. A segunda é a concordância explícita na especificação de seus modelos que inovação provocaria aumento do produto. Sem mudança técnica não pode haver crescimento econômico abrangente e duradouro.

Talvez a referida ligação direta que as duas linhas fazem entre os fatores causadores de inovação e o crescimento econômico seja motivada pela dificuldade

⁹⁰ Jones (2000) descreve além do modelo de Solow, vários de seus descendentes, listando os fatores explicativos introduzidos e os autores originais: P&D – Romer (pág. 84), Educação – Mankiew, Romer e Weil (pág. 44) e Patentes – Douglass North (pág. 74).

⁹¹ Verspagen (2006) traz uma revisão crítica sobre a ampla literatura, teórica e empírica, que pretende associar mudança técnica a crescimento econômico. É dele que tomamos emprestado a taxonomia Neoclássico / *New Growth Theory* X Evolucionista / Neo-Schumpeteriano. Nelson e Winter (1982) no capítulo 9 descrevem seu modelo e apresentam resultados de simulação em comparação com os de Solow, destacando que o modelo Evolucionista é capaz de gerar, além do produto, as séries temporais de entradas, que são dados para o modelo Neoclássico.

⁹² Tratar Tecnologia como “Caixa Preta” é, segundo Rosenberg (2006, p. 7), uma regra auto imposta pelos economistas que prejudica o entendimento de importantes ramificações econômicas de características tecnológicas.

de mensuração da inovação em si, bem como de sua utilização como objetivo, implícito ou explícito, de proposição de política industrial. Enquanto sugerir que o gasto com P&D passe de 0,2% a 1,5% do PIB em 4 anos soa como uma proposta objetiva e bem definida, propor incremento da inovação parece vago e óbvio, já que todos concordam que inovação é passo fundamental, ainda que intermediário, para o crescimento.

Já a segunda concordância entre economia *mainstream* e alternativa caminha em direção ao objetivo e título desta seção: a necessidade econômica da inovação. Ao admitir que a Mudança Técnica é necessária ao crescimento, nos deixa a um passo do referido objetivo. Faltaria só mostrar que crescer é preciso. Pena que este último passo seja tão complicado...

Não passará despercebida a ninguém que acompanhe o noticiário macroeconômico, ainda que superficialmente, a importância dada ao crescimento econômico, representado pela variação do Produto Interno Bruto (PIB). Qualquer taxa negativa, ou mesmo uma positiva, mas pequena, é pintada com cores de catástrofe, derruba ministros e soterra planos de poder de chefes de Estado e partidos políticos. A obsessão por esta estatística é compreensível: se o PIB cresce menos do que a população em uma região, seus habitantes ficam, na média, mais desprovidos. Tampouco passará despercebida a degradação do meio ambiente, a desigualdade econômica, o desemprego persistente e outras mazelas que convivem com tal crescimento em um planeta finito, tornando difícil acreditar que a expansão econômica contínua seja desejável, ou mesmo possível.⁹³

Além disso, a legitimidade da utilização do Produto Interno (ou Nacional) Bruto *per capita* como medida de bem estar é no mínimo questionável. Identificar a possibilidade média de aquisição de bens e serviços à satisfação das necessidades do cidadão significa enorme reducionismo e certamente distorce comparações geográficas, mas é na dimensão temporal que os desafios se agigantam. Sobre tudo se o objetivo é avaliar os efeitos da introdução de inovações em uma economia.

⁹³ Esta discussão está além do escopo deste trabalho, mas é muito ampla e atual. Por exemplo, Méda (2013) sugere, já na introdução e no próprio título da obra, que nossa sociedade estabeleceu uma mística em torno do crescimento econômico que precisa ser revista, em face aos graves problemas ambientais, sociais e econômicos que vivemos.

Comparar o valor monetário da soma de tudo que foi produzido (ou consumido) em diferentes períodos apresenta dificuldades que ultrapassam a simples correção do nível de preços, principalmente se o que se deseja avaliar é justamente o efeito que a introdução de novos produtos e serviços provoca no bem-estar de uma sociedade. Considerar que o benefício advindo de um artefato que não existia na década passada é expresso corretamente por seu preço é ignorar que a introdução do novo bem naturalmente distorce os preços relativos de todos os outros e que, exatamente por se tratar de novidade, seus ainda raros produtores tentarão praticar preço maior que a pura remuneração dos fatores de produção.⁹⁴ Esta dificuldade pode ser ilustrada pelo famoso experimento mental que pergunta à audiência do que abriria mão definitivamente, se fosse obrigada a escolher em nome de toda a sociedade, do iPhone ou do vaso sanitário.⁹⁵ Certamente a privada não se tornou menos essencial para nosso bem-estar depois do lançamento do *smartphone*, nem a relação de preços entre eles reflete sua importância relativa.

1.3.3 Parando no meio do caminho

Se em termos gerais, ou do ponto de vista dos países centrais, estabelecer a necessidade econômica da inovação via expansão do produto é, no mínimo, controverso, em termos relativos, quando consideramos um grupo social em particular ou uma nação periférica, tal justificativa talvez se torne mais palatável⁹⁶.

A menos que subsista de forma isolada em um planeta cada vez mais economicamente interligado, as firmas e cidadãos de qualquer região competem em um mercado globalizado. Tal competição não é, nem caminha para a chamada concorrência perfeita onde muitos pequenos produtores seriam meros tomadores de preço e escolheriam a quantidade ótima ofertada. Trata-se da disputa entre conglomerados empresariais por espaço em mercados oligopolizados, do enfrentamento de capitais industriais e financeiros em busca de sua própria

⁹⁴ De forma a obter lucros maiores que os normais, via monopólio temporário (SILVA, 2003).

⁹⁵ Exemplo frequentemente usado nas apresentações do Prof. Robert Gordon em apoio à sua tese de desaceleração do progresso técnico, por exemplo em Gordon (2014).

⁹⁶ Embora a questão ecológica permaneça relevante, a defesa, por parte de países que se industrializaram sem cuidado com a natureza, de regras ambientais em nações em industrialização soa injusta (MÉDA, 2013, p. 14).

valorização em múltiplas frentes de batalha, usando variadas armas, muito além da escolha de quantidades e preços⁹⁷.

Algumas destas armas são vantagens naturais, como reservas minerais. Outras são lentamente acumuladas, como capacidade financeira ou qualificação da força de trabalho, ou ainda construídas politicamente, como uma institucionalidade propícia ao investimento produtivo. Mas uma delas, a inovação, tem duas características peculiares: está ao alcance de qualquer grupo social⁹⁸ e tem o poder de reconfigurar o campo de batalha, tornando inúteis recursos naturais outrora valiosos, varrendo toneladas de capital para a obsolescência, profissões para o esquecimento e instituições para a irrelevância. Ao mesmo tempo em que impulsiona o investimento em novas safras de capital e abre novas carreiras.⁹⁹

Sendo a forma mais violenta e efetiva de concorrência e trazendo consigo esta destruição criadora,¹⁰⁰ desde que alguma região inove, o ambiente concorrencial será sempre dinâmico, em contínua transformação e deixará em desvantagem quem não inovar. Por isso, mesmo não ignorando que os consumidores se apropriam dos ganhos de produtividade em sua atividade, via queda de preços, graças à inelasticidade da demanda, são os agricultores norte-americanos os maiores apoiadores das pesquisas que impulsionam tal produtividade.¹⁰¹

É como ensinou à Alice a sábia Rainha de Copas: nesta terra devemos correr o mais rápido que pudermos para conseguir permanecer no mesmo lugar¹⁰². Caberá às sociedades decidirem se querem liderar, seguir ou sair do caminho. Enquanto liderar ou seguir trazem consigo riscos e recompensas próprias abordadas

⁹⁷ Mesmo sem pretender exaustão, Possas (1993) lista vinte e uma dimensões em que a concorrência pode ocorrer.

⁹⁸ Quer dizer, não é impossível de ser atingida, como se tornar um grande produtor de petróleo para um país que não detém reservas, nem tão difícil quanto a acumulação financeira pura e simples para um país periférico.

⁹⁹ Certamente as características setoriais são determinantes nesta dinâmica concorrencial e setores menos expostos à integração global, como serviços tradicionais e de baixa produtividade, podem subsistir longos períodos sem experimentar profundas transformações. A descrição do processo concorrencial não pretende, portanto, generalidade absoluta, privilegiando a brevidade do argumento.

¹⁰⁰ (SCHUMPETER, 1994).

¹⁰¹ (FORAY; MOWERY; NELSON, 2012).

¹⁰² Reinert (2009) usa esta passagem do livro de Carroll (1898) para ilustrar sua afirmação de que somente com inovação constante é possível sustentar o bem estar.

na seção anterior, sair do caminho é normalmente a receita para o subdesenvolvimento.¹⁰³

Ainda que esteja além do escopo deste trabalho, cabe ainda um breve argumento “não econômico” em favor da necessidade da inovação. O trabalho afeta o bem-estar de quem o executa não só via o consumo que permite, mas também pelo sacrifício ou prazer que lhe impõe o próprio ato de trabalhar. Se assumimos por hipótese que atividades criativas e variadas são mais prazerosas que as repetitivas, então, mesmo que desfrutassem de rendas *per capita* iguais, uma sociedade inovadora gozaria de mais bem-estar que outra que se dedicasse exclusivamente à produção repetitiva de bens e serviços, mantidas constantes todas as outras condições. Se do Éden nos enviaram, como castigo pelo pecado original, a condenação de comer o pão com o suor do rosto, do Império Bizantino trouxeram, durante o Renascimento, além dos escritos de Platão, outra interpretação da fé cristã pela qual o homem é um ser criativo e a criação sua prazerosa obrigação.¹⁰⁴

Em síntese, nessa seção argumentamos que “Inovar é Preciso”, quer seja por força da concorrência, já que mesmo que não inovemos, alguém em algum outro lugar inovará, quer seja pelo prazer advindo do trabalho criativo ou pela relação entre mudança técnica e crescimento econômico, embora a associação deste com a melhoria da condição humana seja problemática. Esta dificuldade, bem como o próprio estabelecimento da necessidade da inovação, servem de desculpa para “parar no meio do caminho”. Assim, nas análises que se seguem nos contentaremos em discutir como ações, instituições e políticas afetam o surgimento da Mudança Técnica, como se fosse ela um bem em si mesma, e não como estes mesmos fatores alteram o crescimento do produto, que é o ponto de chegada usual em trabalhos sobre o tema.

¹⁰³ A especialização de toda uma economia na produção de *commodities* agrícolas e minerais, normalmente vista como aproveitamento das vantagens comparativas naturais, era nos tempos coloniais e ainda é uma forma de “sair do caminho”. A adoção do receituário do “Consenso de Washington” pelos países da América Latina nos anos 1990 arrasou sua estrutura produtiva, permitindo a sobrevivência apenas de empreendimentos ligados a recursos naturais (CIMOLI; DOSI; STIGLITZ, 2009).

¹⁰⁴ Filósofos Bizantinos, em particular Jorge Gemisto Pletão, levaram à Itália as ideias de Platão que, juntadas a uma visão dinâmica das de Aristóteles, foram fundamentais para uma nova concepção religiosa que harmonizava as atividades artísticas e científicas com a moral cristã (REINERT; DAASTOL, 1997). Também Rosenberg (2006, p. 28), cita Lynn White que declara que o uso da energia mecânica no ocidente medieval teve respaldo na ideologia cristã e “Embora trabalhar seja orar, o objetivo do trabalho é eliminar o trabalho”.

1.4 Mas, quem é que vai pagar por isso?

Eu sei que já faz muito tempo que a gente volta aos princípios
Tentando acertar o passo, usando mil artifícios
Mas sempre alguém tenta um salto, e a gente é que paga por isso,
Fugimos para as grandes cidades, bichos do mato em busca do mito
De uma nova sociedade, escravos de um novo rito
Mas se tudo deu errado, quem é que vai pagar por isso?

João Luiz Woerdenbag Filho

O fato que inovar é, ao mesmo tempo, preciso e impreciso, fundamentalmente necessário para uma sociedade e radicalmente arriscado para seus empreendedores, está na raiz de manifestações econômicas do fenômeno da mudança técnica em aparente contradição com a opinião geral.

Uma abordagem instigante é a que elenca as manifestações que se apresentam como mitos econômicos a serem destruídos, em particular o de que o empreendimento privado, sobretudo enquanto ainda jovem e pequeno, detém a primazia da inovação e merece colher seus frutos, enquanto o Estado é um peso a ser carregado, ou na melhor das hipóteses, provedor de necessidades básicas e condições institucionais mínimas, como educação, investimento em pesquisa básica e proteção à propriedade intelectual.¹⁰⁵

Diferentemente, neste trabalho focamos em outra manifestação que nos parece mais primitiva e mais próxima da contradição apontada, expressa pela constatação de que, por mais economicamente necessária, socialmente louvada ou midiaticamente promovida, normalmente em alguma fase do processo inovativo alguém perderá dinheiro e, tanto a fase quanto o agente que sofre as perdas, são os que mais contribuem para o processo em questão.¹⁰⁶ Embora não seja contrário,

¹⁰⁵ Mazzucato (2013) lista seis mitos: 1) P&D é condição suficiente para inovação; 2) Pequenas e Médias Empresas são os principais vetores da inovação; 3) *Venture Capital* encara os riscos de financiar inovação; 4) Patentes necessariamente incentivam inovação; 5) A dificuldade europeia de inovar está associada a problemas de comercialização; 6) Inovação requer menos regulação e menos impostos.

¹⁰⁶ Esta ideia, exemplificada através da invenção e aplicação de bens de capital na manufatura, está presente na obra de Marx (1959, p. 73): *“The far greater cost of operating an establishment based on a new invention as compared to later establishments arising ex suis ossibus. This is so very true that the trailblazers generally go*

este enfoque é um pouco distinto ao de que, por causa da incerteza inerente, algumas invenções falham enquanto outras prosperam, tornando-se inovações. Sustentamos que, mesmo as inovações mais exitosas, geraram prejuízos ao longo de sua gestação. Obviamente tal distinção surge também em função do conceito de inovação empregado. Pretendemos que a noção compilada no início no capítulo permita reconhecer que muitas vezes dois artefatos, desenvolvidos por diferentes agentes, são duas etapas distintas da mesma inovação e não duas invenções independentes, uma bem-sucedida porque trouxe lucros e outra fracassada porque provocou perdas a quem a empreendeu.

Como a discussão está ficando muito abstrata, vamos contar uma história.

1.4.1 Uma breve história do vento...

Na esteira das crises do petróleo, os anos 1980 viram proliferar grandes investimentos em geração eólica de energia elétrica, tanto em P&D, quanto em fabricantes de aerogeradores,¹⁰⁷ bem como em instalações de produção e teste, principalmente nos EUA, Alemanha e Dinamarca. Os dois primeiros países seguiram trajetórias similares: grandes investimentos em pesquisa para conceber aerogeradores de grande eficiência e potência, desenvolvidos por grandes fabricantes domésticos de bens de capital e aeronaves.

O Ministério Alemão de Pesquisa e Tecnologia,¹⁰⁸ com apoio científico do Instituto de Construção Aeronáutica da Universidade de Stuttgart, concebeu sua gigantesca turbina¹⁰⁹ de duas lâminas e, seguindo nosso velho conhecido Rudolf

bankrupt, and only those who later buy the buildings, machinery, etc., at a cheaper price, make money out of it. It is, therefore, generally the most worthless and miserable sort of money-capitalists who draw the greatest profit out of all new developments of the universal labour of the human spirit and their social application through combined labour."

¹⁰⁷ A história do desenvolvimento da tecnologia de geração de energia eólica, que sucintamente recontamos para servir de exemplo a nosso argumento, é baseada no texto de Heymann (1998).

¹⁰⁸ Bundesministerium für Forschung und Technologie, BMFT.

¹⁰⁹ Criativamente batizada de *Growian*, derivado de *Großwindanlage*, algo como "grande usina eólica", com potência nominal de 3 MW foi baseada no projeto de 1952 do cientista austríaco Ulrich Hütter, que iniciou suas pesquisas em aerogeradores durante a segunda grande guerra.

Diesel, recrutou a mesma MAN¹¹⁰ para construção e testes. Apesar de demorar e custar o dobro do previsto, o gerador operou apenas 420 horas em 4 anos, antes de ser desmontado por causa de insuperáveis problemas mecânicos. Um segundo protótipo, também de grande capacidade, mas com apenas uma lâmina,¹¹¹ foi construído pela MBB,¹¹² do ramo aeroespacial, apresentou também insolúveis problemas mecânicos e, apesar de uma década de insistência da MBB, jamais se aproximou da viabilidade econômica. Uma terceira tentativa, mais modesta e com duas lâminas¹¹³ foi empreendida pela Voith, fabricante de turbinas hidroelétricas, com resultados similarmente decepcionantes.



Aerogerador de duas lâminas, Growian. Fonte: <https://commons.wikimedia.org>



Aerogerador de uma lâmina, Growian. Fonte: <https://commons.wikimedia.org>

Figura 2 - Aerogeradores de uma e duas Lâminas

¹¹⁰ *Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg*, envolvida na fabricação e testes do primeiro motor diesel, relatados em seção anterior.

¹¹¹ A *Growian II* foi proposta originalmente com 10 MW, embora os protótipos financiados pelo Ministério Alemão de Pesquisa e Tecnologia e a Comunidade Europeia fossem de 640 KW.

¹¹² *Messerschmitt-Bölkow-Blohm*, posteriormente incorporada à *Daimler-Benz Aerospace AG*, por sua vez mais tarde consolidada na EADS, *European Aeronautic Defence and Space Company*.

¹¹³ “Apenas” 270 KW.

Em 1973 o Governo Federal dos EUA lançou um programa para acelerar o desenvolvimento econômico de geração elétrica eólica, a ser administrado por sua agência de aeronáutica e espaço, NASA, que por sua vez contratou grandes empresas aeronáuticas e de bens de capital. Estudos contratados junto à General Electric e Kaman¹¹⁴ mostraram cientificamente a superioridade do conceito alemão de duas lâminas em relação ao dinamarquês de três. Assim, a NASA financiou o desenvolvimento, construção e instalação dos primeiros quatro protótipos¹¹⁵ em diferentes pontos do território Norte-Americano, levados a cabo pela Westinghouse, que funcionaram precariamente durante os dois anos de testes, mas foram sucateadas assim que sua manutenção foi transferida para as companhias locais de geração. A segunda geração de protótipos foi contratada junto à divisão de defesa da General Electric e deveria utilizar lâminas de material composto desenvolvidas pela Hamilton Standard, mas este tradicional fabricante de hélices aeronáuticas, após anos de esforços, falhou em sua incumbência, levando a NASA a adquirir lâminas de aço desenvolvidas pela Boeing. De todas as formas, este protótipo não resistiu a 18 meses de problemas mecânicos e uma quebra de eixo. Persistente, a NASA encarregou a Boeing de sua terceira geração de turbinas,¹¹⁶ construindo cinco unidades e instalando-as em diferentes regiões. Novamente a falta de confiabilidade mecânica e uma quebra espetacular, causada por falha do sistema de controle, após somente 11 dias de operação levaram ao abandono do protótipo. Ainda uma quarta geração, muito mais ambiciosa, foi planejada e diferentes protótipos seriam desenvolvidos por General Electric e Boeing.¹¹⁷ O primeiro foi cancelado, o segundo teve sua capacidade reduzida para menos da metade, mas foi construído e instalado no Havaí, apenas para repetir os problemas crônicos e inviabilidade econômica de seus antecessores.

¹¹⁴ Fabricante de componentes e equipamentos aeronáuticos, principalmente helicópteros, fundada em 1945, com sede em Bloomfield, CT.

¹¹⁵ Com 125 KW, denominado MOD-0 e 200 KW, denominado MOD-0A.

¹¹⁶ A segunda geração foi denominada MOD-1 e a Terceira, MOD-2.

¹¹⁷ A General Electric foi encarregada da MOD-5 com 7,3 MW e a Boeing da MOD-5B de 7 MW, depois reduzida para 3,2 MW.

Na Dinamarca também a Pesquisa e o Desenvolvimento científico relacionados à geração eólica foram financiados pelo Estado, embora lá os investimentos tenham somado apenas um quinto dos alemães e um vigésimo dos norte-americanos. Ainda por cima, boa parte destes recursos foi empregada na construção e teste de grandes aerogeradores, com resultados não muito melhores que os norte-americanos e alemães. Como estes, os dinamarqueses partiram de um projeto concebido nos anos 1940 e implementado em protótipos de grande porte na década de 1950.¹¹⁸ A diferença é que o dinamarquês, ao invés de guiado por considerações científicas de eficiência, pautou-se por preocupações práticas de robustez e confiabilidade. Adotar a rigidez das lâminas como premissa, naquela época inatingível sem barras de reforço transversais, levou naturalmente ao desenho com três lâminas. No mesmo período, os pesquisadores alemães, fundamentados na ciência da aerodinâmica, sabiam que pequenas deformações das lâminas não afetariam significativamente o desempenho do gerador, podendo assim prescindir da extrema rigidez das lâminas. Sabiam também que menos lâminas, duas ou apenas uma, tornariam o gerador mais leve e eficiente. Tais conclusões foram corroboradas pelos estudos científicos norte-americanos, que os levaram a desenvolver a investir no conceito de duas lâminas, e não no de três.

Ao invés de uma empresa aeronáutica, coube a um carpinteiro dinamarquês desenvolver o primeiro gerador eólico comercialmente bem-sucedido¹¹⁹. Basicamente um modelo em tamanho reduzido do Gedser¹²⁰, construído com peças de prateleira. O sucesso foi copiado por outros homens práticos e logo fez surgir fornecedores de lâminas em material composto para estes pequenos geradores que, embora não fossem propriamente economicamente viáveis, eram baratos, simples e confiáveis o suficiente para encontrar compradores dispostos a pagar um prêmio por sua independência energética. Esta situação mudou com a concessão de subsídios pelo governo da Dinamarca para o

¹¹⁸ Eletricista por formação, Johannes Juul, começou a pesquisar geração eólica aos 60 anos, em 1947. Construiu um protótipo de 40 KW em 1952 e um de 200 KW em 1956.

¹¹⁹ Christian Riisager construiu e vendeu dezenas de turbinas de 22 KW.

¹²⁰ O gerador de 200 KW de Jull foi instalado na ilha de Falster, perto de Gedser, cidade que terminou por emprestar o nome a este tipo de gerador eólico com três lâminas.

investimento em energia eólica. A abrupta elevação da demanda induziu o aumento de escala de produção para níveis incompatíveis com a experiência e capital dos pequenos fabricantes. Entraram em cena, não grandes fabricantes de equipamentos de geração de energia, mas pequenos fabricantes de máquinas agrícolas, como Vestas e Bonus, que compraram patentes e *know-how* dos pequenos produtores de aerogeradores e já sabiam como projetar e construir sistemas mecânicos robustos e confiáveis para operar em regiões remotas sem carecer de assistência técnica especializada e constante. Coube ao Estado estabelecer laboratório de teste e certificação de turbinas além de suporte científico à evolução dos projetos, principalmente no cálculo de esforços estruturais, porém sem jamais buscar alternativas ao conceito básico de três lâminas. A troca de informações entre os produtores de turbinas eólicas e sua capacidade de fornecimento de produtos maduros permitiu aos fornecedores Dinamarqueses serem os maiores beneficiários dos incentivos que o Estado da Califórnia concedeu na década de 1980. Ainda que com o fim dos incentivos, muitos tenham sofrido e somente sobreviveram graças à complacência estatal, os fabricantes dinamarqueses além de se consolidarem na liderança mundial em tecnologia eólica, paulatinamente desenvolveram turbinas com as grandes capacidades de geração almejadas quando da concepção dos projetos alternativos com menos lâminas.



Figura 3 - Aerogeradores pioneiros com três lâminas

1.4.2 ...e duas interpretações

A história sobre energia eólica que acabamos de narrar contém várias manifestações da contradição que dá nome a este capítulo, entre a necessidade econômica da inovação, neste caso potencializada pelos choques do petróleo, e sua incerteza intrínseca, técnica, econômica e social. Mas, como discutido no início desta conclusão, o foco deliberado em distintas manifestações conduzirá a diferentes interpretações dos fatos.

Uma leitura é que a evolução dos aerogeradores conta a história de três inovações, duas fracassadas, a alemã e a norte-americana, e uma bem-sucedida, a dinamarquesa. Iludidos pelo mito de que investimentos adequados em P&D seriam suficientes para deslanchar o processo inovativo levado a cabo pela iniciativa

privada, EUA e Alemanha gastaram milhões com as grandes empresas que arregimentaram. Em particular os que mais investiram, os norte-americanos, não tiveram paciência - suspenderam os incentivos prematuramente, nem complacência - permitiram a falência de inovadores com grande potencial. Credo no mito de que, se o governo se recolhesse, o mercado trataria da aplicação, industrialização e comercialização da tecnologia desenvolvida, acabaram por desperdiçar o investimento realizado, deixando que os dinamarqueses colhessem os frutos do subsídio californiano e a GE¹²¹ adquirisse por valor irrisório tecnologia desenvolvida com dinheiro público.

A interpretação que preferimos não contradiz a anterior, mas encara esta mesma história como a narrativa de uma única inovação, cujo processo de desenvolvimento se deu em várias etapas, e em algumas delas, como inexoravelmente acontece, agentes perderam dinheiro. Dado o paradigma tecnológico, isto é, o estado da arte da tecnologia aeronáutica, engenharia mecânica, elétrica, de materiais e de controle dinâmico, vigente nos anos 1980, duas trajetórias tecnológicas¹²² competiram por algum tempo. Uma mais baseada em ciência, com abundante financiamento estatal e envolvimento de grandes empresas do setor foi derrotada por outra, com origem e apoio mais humildes. O *design* Gedser tornou-se dominante,¹²³ mas não porque a escolha afortunada do ponto de partida e a cumulatividade do conhecimento técnico confinaram seus seguidores a uma trajetória fadada ao sucesso. A solução com três pás era inferior porque baseada em premissa de projeto desnecessária, a rigidez das lâminas, mas que, associada às menores dimensões dos primeiros geradores, evitou os formidáveis desafios de controle de vibrações não antecipados pelos desenvolvedores de

¹²¹ Mazzucato (2013, p. 147) argumenta que, diferentemente do governo da Dinamarca no caso da Vestas, os EUA não foram lenientes com a Kentech, promissor produtor de aerogeradores baseados em tecnologia publicamente financiada desenvolvida no MIT. A Kentech, depois de problemas com produtos defeituosos, faliu e foi sucessivamente adquirida e desmembrada até ser incorporada a General Electric, dando origem à sua divisão de turbinas eólicas, atualmente um dos líderes do setor.

¹²² Uma trajetória tecnológica representa a evolução histórica contínua de uma tecnologia, condicionada pelo paradigma tecnológico no qual está inserida. Uma mudança de paradigma implicaria em ruptura tecnológica. Os conceitos são explorados em grande detalhe por Dosi (1982).

¹²³ Design dominante é o conjunto de características chave que se tornam um padrão de fato, eliminando a possibilidade de trajetórias que não envolvam tais características. Indica maturidade do paradigma tecnológico. O conceito é introduzido por Utterback e Abernathy (1975).

turbinas com duas ou uma pá. Tampouco se tornou o *design* dominante apenas porque seus financiadores foram mais pacientes. O êxito dinamarquês tem a ver principalmente com as partes da inovação externas aos artefatos (tipos de aerogeradores, neste caso): a mutação do conhecimento técnico relacionado à inovação e a inter-relação entre artefatos, agentes e instituições, em consonância com o conceito de mudança técnica esboçado no início deste capítulo.

Com efeito, a possibilidade do emprego da força motriz eólica fazia parte do conhecimento coletivo do povo da Dinamarca. A própria presença de barras transversais no protótipo *Gedser* original remete aos antigos moinhos de vento. Este fator cultural foi provavelmente decisivo para sustentação da demanda por pequenos geradores, enquanto a energia produzida por estes ainda era mais cara que a adquirida da distribuidora de energia. O conhecimento técnico incorporado no *design* simples e robusto de três pás pôde ser absorvido e transmutado por artesãos, que inicialmente copiaram o projeto em escala reduzida e adaptaram componentes elétricos e peças de caminhão. A inter-relação com firmas que utilizavam material composto permitiu incorporar, através de subfornecimento, lâminas com perfil aerodinâmico impossíveis de serem construídas pelos próprios artesãos. Quando os incentivos governamentais impulsionaram a demanda e tornou-se viável a produção em escala industrial, o conhecimento dos fabricantes artesanais pôde ser absorvido e novamente transmutado por fabricantes de máquinas agrícolas que certamente compreendiam os rigores a que são submetidos sistemas mecânicos utilizados no campo. Finalmente, a inter-relação com laboratórios e cientistas assumiu a forma de apoio aos fabricantes, e não de liderança. O local para teste de produtos, assim como suporte aos cálculos aerodinâmicos e estruturais, permitiram o crescimento da potência individual gerada, dos modestos 22 KW da era artesanal para mais de 1 MW atualmente. Não menos importante, a troca de experiências organizada pela associação de fabricantes minimizou os danos à confiabilidade que esta busca por desempenho naturalmente acarretou.

Mas, esta trajetória tecnológica não foi independente da outra. Mais do que lucrar com subsídios californianos, os fabricantes dinamarqueses puderam observar as falhas de seus pares alemães e norte-americanos, reforçando sua resolução em seguir pela trilha das três pás. Porém não aprenderam só com os

erros: a prematura disposição em enfrentar os desafios inerentes à grande potência e dimensões dos geradores anteciparam muitos problemas e produziram soluções posteriormente usufruídas pelos fabricantes da terra de Hamlet.¹²⁴ Se os norte-americanos e alemães não houvessem investido dinheiro dos contribuintes em seus malfadados projetos, dificilmente companhias como Vestas e GE estariam na posição atual.

É interessante, mas não surpreendente, que a escolha sobre qual manifestação desta contradição básica destacar conduza a uma forma de superação específica. A questão de que a esmagadora maioria do esforço inovativo, tanto exitoso quanto fracassado, é custeado pelo Estado, enquanto a iniciativa privada explora os benefícios das tentativas relativamente maduras e promissoras, mas nega a recompensa econômica e o mérito ao verdadeiro agente da inovação, o setor público, induzirá a determinado tipo de Política Econômica, visando corrigir tal distorção nas recompensas e incentivos à inovação.¹²⁵

Por outro lado, concentrar a atenção, como pretendemos aqui, no problema de como uma sociedade pode protagonizar maiores e mais profundos processos de mudança técnica, reconhecendo que “sempre que alguém tenta um salto” inexoravelmente ocorrem perdas econômicas, passa por estabelecer *ex ante* que entidades correrão o risco de sofrer tais perdas e terão a responsabilidade de reduzi-las quando possível, mas principalmente de dar direção e cadência ao esforço inovativo.

É disto que tratamos a seguir, das recomendações de políticas públicas que são logicamente derivadas de diferentes visões econômicas do processo de mudança técnica.

¹²⁴ Muitos dos avanços tecnológicos obtidos por fabricantes de turbinas eólicas como Vestas, podem ser ligados a pesquisas financiadas pelo DoE dos EUA (RUEGG; THOMAS, 2009) *apud* (MAZZUCATO, 2013, p. 148).

¹²⁵ Em nossa leitura este é o argumento central de Mazzucato (2013). Já as recomendações de política que podem ser derivadas do *Risk-Reward Nexus* são expandidas e detalhadas por Lazonick e Mazzucato (2013).

2 Rotas em mar turbulento

We must free ourselves of the hope
that the sea will ever rest. We must
learn to sail in high winds.¹²⁶

Aristotle Onassis

2.1 Querer não é Poder

O critério de admissão pode variar, mas o clube dos países ricos costuma ser bastante restritivo. Por exemplo, se usarmos na falta de outra medida objetiva, a sabidamente imperfeita renda *per capita* e quisermos chamar de rica toda nação cujos cidadãos receberam em média mais de 70% do que os norte-americanos, em nenhum dos últimos cinquenta anos nomearemos mais que vinte países.¹²⁷ Olhando períodos mais longos, em que pese a escassez de estatísticas, é possível afirmar que não tem ficado mais fácil pertencer ao grupo: a diferença entre países ricos e pobres vem aumentando desde 1800.¹²⁸

Entretanto outro clube imaginário, o das nações que inovam, é ainda mais exclusivo e a admissão recente de uns poucos novos membros foi mais que compensada pelo ostracismo de associados mais antigos. Outra vez lancemos mão

¹²⁶ Devemos nos livrar da esperança do mar um dia se acalmar. Devemos aprender a velejar com vento forte. Tradução própria.

¹²⁷ Usando dados de PIB *per capita* e PIB em dólares de 2005 obtidos de World Bank (2015) e suprimindo países cujo produto foi menor que 100 bilhões de dólares neste mesmo ano para excluir os muito pequenos, constatamos que o número de países ricos, por este critério arbitrário, subiu de 11 em 1960 para 18 em 1975, oscilando entre 18 e 20 até 2010.

¹²⁸ As rendas *per capita* de China, Japão, Rússia, Europa e EUA eram próximas até 1800, e a partir daí divergem fortemente até os anos 2000 (final do período de análise) (CLARK; FEENSTRA, 2003). Outra perspectiva é a de Maddison (1995) que compara o desempenho de 7 regiões, estabelecidas de forma semelhante à Adam Smith (1996), englobando número maior de países entre 1820 e 1992. Embora aponte inversões em determinados períodos como, por exemplo, quando o Sul da Europa se atrasou em relação à Europa Oriental e América latina, constata que ao fim a hierarquia entre as regiões não se alterou. Nota também que, mesmo que a distância relativa entre EUA e Europa Ocidental e Ásia tenha se reduzido nos últimos anos, a distância entre primeiros e últimos colocados aumentou de forma contínua e substancial, tanto para países quanto regiões. Já outra análise de Maddison (2005) que vai até 2001 discorda da proximidade da renda no início do século XIX e afirma que o Ocidente já era mais rico que o resto do mundo neste momento, embora fosse mais pobre que a Ásia no início daquele milênio. Por outro lado, ao reduzir uma região incorporando o Sul da Europa à Europa Ocidental, suprime uma inversão de sua análise anterior, exemplificada acima. De todas as maneiras, esta última contribuição confirma a divergência entre líderes e retardatários, tanto para regiões quanto países.

de uma régua imperfeita, porém objetiva: o número de patentes concedidas nos EUA a solicitantes de determinada nacionalidade. Já que a partida é em campo adversário, sejamos benevolentes admitindo como associada toda nação que registrar mais que 5% das patentes registradas pela anfitriã no mesmo ano. Ainda assim apenas sete países¹²⁹ frequentariam o clube em algum momento durante o longo período que vai desde a Revolução Industrial até o fim do século XX. Destes, apenas dois repetiriam o feito em 2007, dos quais somente a Alemanha poderia ser considerada um membro tradicional, já que seu companheiro de proeza, Japão, apresentava desempenho pífio até o fim dos anos 1950. Os outros cinco viram seus números relativos de patentes despencarem para abaixo dos 5%, às vezes a partir de patamares elevados, como o Reino Unido (35%), Canadá (20%) e França (14%). Mesmo a resistente Alemanha não alcançava no fim do período metade do que foi capaz em 1929. Além do Japão, somente Coreia do Sul e Formosa juntar-se-iam ao clube, superando o limiar de 5% na primeira década do século XXI.

Não causa espanto que a seletividade dos clubes seja simultânea (justamente a partir do momento que as inovações se aceleram e transportes e comunicações facilitam sua difusão, as diferenças de renda se acentuam) uma vez que as diversas correntes teóricas, ainda que não concordem em quase mais nada, confiam à inovação o papel de importante indutor do crescimento econômico, assim logicamente a exclusividade do segundo clube reforçaria a do primeiro. O que realmente causa admiração é que o segundo clube seja tão exclusivo - **se todos concordam que é preciso inovar, por que a inovação é tão mal distribuída geograficamente e vem se concentrando ainda mais ao longo do tempo?**

Claro que para qualquer empresa ou nação, conquistar e manter uma posição de destaque em inovação em um mundo competitivo e globalizado não é tarefa fácil. Sabemos que a imprecisão intrínseca à mudança técnica, simbolizada nos termos do capítulo anterior na constatação de que alguém perderá dinheiro ao

¹²⁹ Canadá, França, Alemanha, Japão, Holanda, Suíça e Reino Unido, conforme tabela 3.1 apresentada em Castaldi *et al.* (2009) que traz o percentual de patentes concedidas nos EUA a solicitantes de 25 países, em relação ao número de patentes registradas, também nos EUA, em nome de solicitantes estadunidenses.

longo do processo, constitui obstáculo formidável, mas que intrigantemente é regularmente superado por uns e não por outros.¹³⁰

O objetivo do presente capítulo é revisar algumas das explicações encontradas na literatura para a heterogeneidade da mudança técnica, além das ações, instrumentos e políticas que poderiam ser a partir delas prescritas, a fim de esboçar uma comparação entre tais prescrições.

Há, porém, dois desafios importantes. Primeiro, a vastidão do assunto expressa pela variedade das numerosas contribuições acadêmicas¹³¹ sobre o tema está muito além de nossas possibilidades e nos obriga a abrir mão antecipadamente de qualquer pretensão à exaustão ou profundidade. Mesmo assim, considerando apenas o que pudemos destilar dos trabalhos que alcançamos revisar, colhemos um amplo emaranhado de raciocínios complexos e inter-relacionados de várias formas. Percorrer território vasto e intrincado requer algum método e nisto consiste o segundo desafio: encontrar uma maneira de explorar sistematicamente as ideias que elegemos revisar para sumariar e compará-las. Claro que o tratamento mais justo seria o que representasse cada trabalho ou autor em seus próprios termos, sem moldá-lo à força à forma da sistemática escolhida. Evitaríamos assim reducionismos e simplificações, mas a justaposição de ideias resultante seria rigorosamente inútil para nossos propósitos comparativos.

Para encarar o segundo desafio, já que tivemos de fugir do primeiro, nos apoiaremos nos *rationales*¹³² implícitos às explicações sobre os determinantes e condicionantes econômicos da Mudança Técnica encontradas nas diversas contribuições acadêmicas, o que por sua vez, traz consigo sua própria problemática, que abordamos na próxima seção deste capítulo. Depois desta segunda seção,

¹³⁰ “Uma das questões históricas centrais a respeito do progresso técnico é sua extrema variabilidade no tempo e no espaço. Um dos fatos mais incontestes da história é a existência de enormes diferenças na capacidade de sociedades distintas de gerar inovações tecnológicas adequadas a suas necessidades econômicas.” (ROSENBERG, 2006, p. 25).

¹³¹ A título de ilustração, o número de artigos acadêmicos contendo a palavra inovação no título cresceu 20 vezes entre 1955 e 2005 (FAGERBERG, 2005).

¹³² *Rationales* são modelos, não necessariamente formais, derivados implícita ou explicitamente de teorias acadêmicas ou conceitos, capazes de instruir o desenho de políticas públicas, sua implementação e posterior avaliação. *Rationales* contém pressupostos sobre o sistema no qual a intervenção ocorre. Explícita ou implicitamente articulam, problematizam e justificam a necessidade de intervenção, além de delinear a lógica pela qual a política recomendada levará aos resultados desejados (LARANJA; UYARRA; FLANAGAN, 2008).

onde discutimos a sistemática de exploração, apresentamos, na terceira seção, a própria apreciação dos modelos assim obtida. Na quarta seção é onde efetivamente comparamos os modelos¹³³ elencados e destacamos que suas recomendações são muito menos variadas que suas origens. Na última seção, concluímos sugerindo que os modelos, em determinados casos de interesse, parecem padecer de males semelhantes e por isso apontariam para políticas parecidas e nem sempre eficazes para remediar a desigualdade na criação e aproveitamento de inovações tecnológicas.

¹³³ Embora a definição anterior comece dizendo que “*racionales* são modelos”, para maior clareza reservaremos o termo “modelo” para designar cada uma das explicações estabelecidas pela sistemática de apreciação utilizando *racionales*.

2.2 Entre Teoria e Prática existe um vão

Podemos encontrar na literatura categorizações de Política Industrial, como por exemplo:¹³⁴

Salazar	Erber	Castro
Neoclássico	Neoliberal radical	Falhas de Mercado
Estrutural	Neoliberal reformista	Política de Resultados
Evolucionário e	Neodesenvolvimentista	Busca de Variedade
Institucional	Social-democrata	

Tabela 1 - Categorias de Política Industrial

São relativamente mais escassas as contribuições que buscam estabelecer uma taxonomia para as políticas públicas especificamente para incentivo à inovação. Um esforço neste sentido é visto no trabalho¹³⁵ que elabora o já mencionado conceito de *racionales*. Lá são identificados cinco modelos de políticas públicas de incentivo à mudança técnica:

¹³⁴ As colunas da tabela foram extraídas, respectivamente, dos trabalhos de Xirinachs-Salazar, Nübler e Kozul-Wright (2014, p. 30), Erber e Cassiolato (1997) e Castro (2002). Neste último a terceira categoria não foi batizada, por isso tomamos a liberdade de fazê-lo na tabela acima.

¹³⁵ Laranja, Uyarra e Flanagan (2008) é a principal referência para esta seção que se vale também de Flanagan, Uyarra e Laranja (2011) e Aghion, David e Foray (2009).

Laranja
Neoclássico
Schumpeteriano de crescimento endógeno
Neomarthalliano
Institucional sistêmico
Estruturalista evolucionário

Tabela 2 - Categorias de Política Tecnológica

Estas categorizações, mesmo poucas, parecem inconciliáveis entre si para além da velha dicotomia *mainstream* x heterodoxo, o que deve ser um indício da dureza da empreitada. Com efeito, cada política se diferencia ou aproxima de outras, conforme a dimensão ou perspectiva de análise. Teorias antagônicas sob um ponto de vista são harmônicas a partir de outro, tornando qualquer classificação problemática. Por exemplo, a Tabela 2 foi estabelecida de forma a discutir a dimensão geográfica, avaliando como cada um dos modelos leva em conta o aspecto regional na explicação do fenômeno da inovação e na proposição de políticas. Já a segunda coluna da Tabela 1, que trata de Política Econômica e não só Industrial, foca nas transformações sofridas pela Economia brasileira e mundial na esteira da onda neoliberal dos anos 1990, enquanto a terceira coluna da mesma tabela refere-se ao Brasil no início da década seguinte, mirando a competição/integração da indústria nacional na economia globalizada. Finalmente, a primeira coluna da Tabela 1 preocupa-se mais com crescimento e emprego quando o dinamismo industrial parecia deslocar-se para países emergentes, enquanto os efeitos da crise do fim da primeira década do século XXI ainda não se desdobravam totalmente.

Uma razão para a dificuldade é que entre a teoria e a prática, isto é, entre a teoria econômica que trata de inovação e as políticas públicas de incentivo à

inovação, existe um vão. Não é possível rastrear inequivocamente as origens teóricas das políticas públicas porque estas dependem para sua execução de detalhes não especificados nas alturas abstratas da teoria econômica. Mesmo que algum governo concordasse monolítica e explicitamente com alguma teoria econômica, normalmente não é possível extrair diretamente dela quais os instrumentos de política adequados nem quando utilizá-los.¹³⁶ Pior ainda, tais políticas são construídas historicamente, evoluem através de processos acumulativos e irreversíveis.¹³⁷ Tipicamente os instrumentos de política não se substituem, mas se sobrepõem.¹³⁸ Há que reconhecer também encadeamentos no sentido oposto ao apresentado: políticas públicas estabelecidas pragmaticamente, intuitivamente ou com base em interesses particulares são, quando muito, apenas justificadas por teorias.

Preenchendo este vão estariam os *rationales*, entendidos como os raciocínios completos que justificariam cada política. Deles nos serviremos, não para tentar separar rigidamente as Políticas, pelas dificuldades apontadas, mas como fio condutor da análise, guiando a passagem entre uma ideia e outra, bem como a comparação das mesmas. Entretanto, julgando que a substância que preenche o vão possa ser mais bem repartida, no lugar de *rationale* encadeamos **Teoria, Mecanismo e Diagnóstico**. Por Teoria identificamos uma corrente de pensamento Econômico¹³⁹ na qual a explicação abordada se insere. Uma vez que teorias econômicas em geral, mesmo as que destacam sua importância, tratam a mudança técnica como caixa preta, para construir um modelo é necessária alguma suposição sobre o mecanismo pelo qual a inovação vem ao mundo, sua gênese ou aparição e

¹³⁶ Embora Flanagan, Uyarra e Laranja (2011) reconheçam a existência de contribuições nesse sentido, denunciam o reducionismo de tal ideia, ponderam que a relação de causa-efeito que lhe é central é apenas um entre muitos fatores a serem considerados e afirma que políticas não podem ser analisadas separadamente de sua construção.

¹³⁷ Flanagan, Uyarra e Laranja (2011) também argumentam que a implantação de políticas públicas é um processo evolucionário em que ideias surgem e são competitivamente selecionadas. Já a substituição de uma política por outra pode se dar através da destruição criadora *à la* Schumpeter, rompendo o monopólio da política previamente estabelecida pela ação de um “empreendedor de políticas”.

¹³⁸ As Políticas Públicas de Incentivo à Inovação em geral não são substituídas umas pelas outras. Ao contrário, vão sendo superpostas ao longo do tempo, e emergem e evoluem a partir de processos complexos, contingentes e *path-dependent* (LARANJA; UYARRA; FLANAGAN, 2008).

¹³⁹ Laranja, Uyarra e Flanagan (2008) defendem a divisão em *rationales* específicos condicionados pela camada superior de meta-*rationales*, conceito do qual o que chamamos de Teoria se aproxima.

desenvolvimento. E se o mecanismo não funcionar, será por algum motivo: chamamos de diagnóstico a suposta razão para a falha em inovar. Já que inovar é objetivo presumível, a cada diagnóstico corresponderá um curso de ação, ainda que a recíproca não seja verdadeira. Diagnósticos bastante distintos para a heterogeneidade da mudança técnica surpreendentemente apontam para Políticas semelhantes, como veremos mais adiante. Assim os elementos mencionados se sucedem como esquematizado na figura a seguir.



Figura 4 – Modelo: da Teoria à Política de Incentivo à inovação

Por exemplo, suponhamos que formuladores de políticas públicas de um país qualquer, que inove pouco, tomem como verdadeira a teoria econômica *mainstream* de crescimento com mudança técnica endógena. Isto de pouco lhes valerá se quiserem propor alguma ação. Necessitarão de uma suposição sobre o mecanismo que dá origem à inovação que diga algo do tipo: a mudança técnica que provoca o crescimento é causada principalmente pela atuação de Doutores em Engenharia no setor privado. Mas teoria e mecanismo tampouco são suficientes. Carecerão ainda de um diagnóstico, algo como: a nação forma poucos doutores ou as firmas contratam doutores de menos. Só então poderiam logicamente propor uma política: conceder bolsas de estudo para doutorandos em Engenharia ou subsídio para firmas que contratem doutores, de acordo com o diagnóstico preferido.

No cerne desta concepção de modelo com consequente influência na apreciação posterior das Políticas de Inovação e suas justificativas está o conceito de mecanismo. Se de um lado, o conceito de teoria encontra correspondência direta na literatura econômica e, de outro, o conceito de diagnóstico pode ser ligado, ainda que unidirecionalmente, aos próprios instrumentos de política observados na prática, o mesmo não ocorre com o conceito de mecanismo que está mais afastado de tais

observações objetivas. Por isto, e pela centralidade já apontada, merece a clarificação que segue.

Não se trata somente de substituir um vão maior (*rationale*), por um menor (mecanismo). Pretendemos que o conceito de mecanismo, por tratar somente da forma de germinação e crescimento da mudança técnica em uma sociedade, separadamente da teoria sobre o funcionamento econômico desta mesma sociedade e dos próprios defeitos que este mecanismo pode apresentar (diagnóstico), permita alguma regularidade em sua especificação. Além disso, ao especificar um mecanismo procuraremos indicar um **agente** responsável pela mudança técnica e uma **atividade** pelo exercício da qual ela surge. Tais elementos nos ajudarão a caminhar de um conjunto de ideias para outro, pois cada modelo, ao invés de apartado dos outros, é construído em sequência sucessória a seu precedente e, embora sublinhe as diferenças, guarda semelhança com seu antecessor porque, mesmo aparando alguma aresta, em geral o incorpora e expande, como se vê a seguir.

2.3 Sete Modelos, seus Diagnósticos e políticas

Sem preconceito
 Ou mania de passado
 Sem querer ficar do lado
 De quem não quer navegar
 Faça como um velho marinheiro
 Que durante o nevoeiro
 Leva o barco devagar

Paulinho da Viola

Com base na modelagem exposta na seção anterior, agrupamos as explicações econômicas para o fenômeno da inovação em sete categorias, duas das quais subdivididas em três vertentes cada. De uma categoria à outra, deixamo-nos guiar pela especificidade do **agente** da mudança técnica, que principia indefinido e amorfo, mas depois se identifica a um setor da economia, daí a certos tamanhos de firmas e finalmente a aglomerados de empresas e outras entidades conectados entre si.

Assim, começamos pelo modelo neoclássico (A Milagrosa Máquina de Inovar), cuja primeira vertente (Neoclássico Básico) nem chega a ter um **agente** para a Inovação, mas cujas vertentes seguintes (Livre Mercado Inovador e Falhas de Mercado) entregam este papel ao etéreo mercado. A seguir tratamos das explicações de cunho Estruturalista (O Mundo visto como uma escada) que consideram que um setor, o industrial, seja o protagonista da Inovação. Sua primeira vertente (Escada não, andaime) aborda ideias usualmente associadas à Cepal, enquanto a segunda (Limpendo degraus) foca na crítica *mainstream* a aquelas. Já a terceira vertente (Chutando a escada) busca um meio termo entre as duas anteriores.

Quando, deixando de ser de um setor inteiro, o protagonismo passa para firmas de determinado porte, chegamos primeiro a Schumpeter Mark I (Tamanho é Documento) pela relativa proximidade das grandes firmas industriais deste modelo com o setor todo do modelo anterior. Então podemos tratar, na categoria seguinte (O Inventor Herói no Parque dos Dinossauros), de Schumpeter Mark I e autores

neoclássicos que consideram pequenas empresas os principais **agentes** da Mudança Técnica.

As três últimas explicações atribuem a um conjunto de entidades heterogêneas interconectadas: firmas de vários tamanhos, instituições, universidades, centros de pesquisa, etc., a função de **agente** da inovação. A perspectiva de Redes (Entre Laços e Nós) foca na interação entre estes elementos, já a Evolucionária (De Frente para a Aventura) olha para as transformações concomitantes do conhecimento e da configuração da rede que o produz. A última categoria (Falso Vilão) aponta que entre os elementos da rede, os relacionados ao Estado, lideram o processo de Mudança Técnica.

2.3.1 A Milagrosa Máquina de Inovar

Em modelos de inspiração neoclássica a concorrência tende a ser perfeita, senão como rumo dos acontecimentos, ao menos como meta e métrica para eficiência econômica e benefício social máximos. Os homens tudo sabem e calculam cada decisão de consumo de forma a maximizar a utilidade obtida. As firmas por sua vez, que enfrentam retornos decrescentes de escala e produtividades marginais de insumos decrescentes, produzem de forma a maximizar perfeitamente seus lucros. Assim a Economia, que pode ser entendida pelo comportamento destes agentes econômicos, pessoas ou firmas, que por sua vez replicam o comportamento de agentes representativos, habita nas vizinhanças de equilíbrios computáveis.¹⁴⁰

Por constituir-se justamente do comportamento atípico de agentes, da fuga da concorrência e de desequilíbrio, a mudança técnica é naturalmente tratada de forma desajeitada por tais modelos. Tentando mostrar como o pensamento *mainstream* busca lidar com esta dificuldade, elencamos três estágios distintos deste mesmo modelo, apresentados a seguir.

¹⁴⁰ (SAMUELSON, 1999).

2.3.1.1 Neoclássico Básico

Quem constrói um modelo propositadamente fecha os olhos para determinados aspectos da realidade, ou sua tarefa seria impossível. É natural que a inovação esteja entre as coisas que se decide ignorar no modelo neoclássico básico. Se a mudança técnica, nos termos do primeiro capítulo, fosse generalizada e perene, não seria possível conceber funções de produção agregadas ou firmas representativas. Nem postular que os mercados se aproximam da concorrência perfeita e a Economia do equilíbrio.

Dá na mesma se ao invés de simplesmente fechar os olhos, enxergarmos conhecimento técnico como informação, acessível a todos instantaneamente e a custo desprezível. Retirando o tempo da equação ela deixa de ser dinâmica e não haveria, portanto, que tratar de mudança técnica, somente do estado da técnica. Retirando o custo, não haverá diferenças tecnológicas entre firmas, que produziriam sempre conforme o estado da arte da tecnologia aplicável a seu ofício. O inegável avanço tecnológico é equivalente a um maná dos céus, que brinda a todos da mesma forma.

Em um mundo que funcionasse desta forma, importaria às nações periféricas explorar seus recursos naturais e fatores de produção, abrindo suas fronteiras ao comércio internacional para que, como prevê o modelo HO, as rendas de tais fatores, inclusive salários, se equiparassem ao nível vigente no mundo globalizado.¹⁴¹

Este primeiro modelo,¹⁴² por presumir que o conhecimento técnico se espalha instantaneamente e sem dificuldade, não admite sequer a possibilidade de heterogeneidade do nível de conhecimento técnico, menos ainda de mudança técnica. Obviamente não é capaz de explicar um fenômeno que não admite, sendo, portanto, o modelo trivial: não associa **mecanismo**, **agente** ou **atividade** ao

¹⁴¹ Teoria conhecida como modelo de Hecksche-Ohlin para comércio internacional, ou simplesmente modelo HO, tem como uma de suas consequências o teorema da equalização de preços de fatores, pelo qual os salários para as mesmas profissões tenderiam a equalizar-se em países sem barreiras comerciais entre si (SAMUELSON, 1948).

¹⁴² Nosso modelo neoclássico básico equivale ao *rationale* Neoclássico em Laranja, Uyarrá e Flanagan (2008).

processo inovativo. Como tampouco apresenta um **diagnóstico**, não é possível justificar nenhuma política de incentivo à inovação.

2.3.1.2 Livre Mercado Inovador

Mesmo para economistas *mainstream* tornou-se difícil excluir a mudança técnica da explicação para o crescimento econômico. Conforme vimos no capítulo anterior, aplicando métodos tipicamente neoclássicos, Solow estimou estatisticamente uma função de produção para a economia norte-americana na primeira metade do século XX e concluiu que quase 90% dos ganhos de produtividade não poderiam ser atribuídos aos fatores de produção e seriam, portanto, “resíduo” relacionado ao progresso técnico.¹⁴³

O incômodo de tratar como maná divino o fator mais importante para o crescimento econômico pôde ser remediado, sem abrir mão da fé fundamentalista na eficiência dos mercados, tratando o conhecimento técnico como mais uma *commodity* que, como as outras, é produzida com mais eficiência pelo mercado perfeitamente competitivo. A ideia de que a competição conduz à melhor alocação dos recursos produtivos, presente desde Adam Smith,¹⁴⁴ é extrapolada para a produção de conhecimento técnico. A alegada eficiência dos mercados na alocação de recursos e distribuição de incentivos da economia cotidiana valeria também para o processo inovativo.¹⁴⁵

Assim como a função de produção dispensa o entendimento de como as mercadorias são realmente produzidas, esta abstração dispensa a identificação do **mecanismo** que explique o surgimento da mudança técnica. Curiosamente indica que o **agente** envolvido no processo é o mercado, mas, sem um mecanismo também dispensa a indicação de uma **atividade** cuja execução produzisse a mudança técnica.

¹⁴³ (SOLOW, 1957).

¹⁴⁴ Mais especificamente à ideia da mão invisível, responsável pela alocação ótima de recursos, mas que só aparece explicitamente uma vez na obra de Smith, ver nota adiante.

¹⁴⁵ Geralmente tomada como verdade auto evidente no noticiário econômico, encontra-se também em contribuições acadêmicas como *The free-market innovation machine: analyzing the growth miracle of capitalism* (BAUMOL, 2002) que seria a representação mais acabada da linha de pensamento que atribui ao mercado a primazia da inovação tecnológica (DODGSON et al., 2011).

O **diagnóstico** para a desigualdade inovativa que deriva do modelo é que onde o mercado goza de liberdade para se desenvolver haverá inovação tecnológica, onde aquele for restrito e controlado, esta não surgirá. Embora a Política Pública que se associa ao modelo seja a mesma “não política”¹⁴⁶ do modelo anterior, distinto diagnóstico traz implicação diferente: uma vez que agora inovação é fator determinante para o crescimento econômico, é preciso eliminar as interferências que afastem do livre mercado para que cedo ou tarde a vanguarda seja alcançada.¹⁴⁷

A exclusividade crescente do clube de países inovadores do início do capítulo pode até não abalar a crença neste modelo, pois, diriam seus fiéis: provavelmente as sociedades vêm se tornando mais intervencionistas e por isto inovam relativamente menos. Mas, a constatação histórica de que a previsão do modelo nunca se realizou não pode ser ignorada: nem mesmo países que quando na vanguarda pregaram, ao menos para os outros, o poder inovador do mercado, lá chegaram sem decisiva intervenção do Estado. Com aplausos de Smith, a Inglaterra protegeu sua indústria naval contra a concorrência holandesa e pôde assim dominar os mares. Mais tarde, o Norte dos EUA que se industrializava protegeu seu mercado doméstico da já industrial Inglaterra, que então concordava com Ricardo sobre as virtudes do livre comércio, assim como o Sul dos EUA, agrícola e exportador, que terminou por confederar-se e tentar se separar do Norte.¹⁴⁸

¹⁴⁶ Não política é uma política (CIMOLI; DOSI; STIGLITZ, 2009). Mesmo a escolha de não ter uma política explícita ou implícita é uma escolha, isto é, a aceitação da divisão internacional atual do trabalho intelectual e braçal com a consequente distribuição de oportunidades de aprendizado.

¹⁴⁷ *The free market, once the institutional impediments to its development had been reduced sufficiently, just grew by itself and by itself became the machine that generates innovation and growth in dramatic profusion. For the market economy's makeup is such as automatically to ensure that result* (BAUMOL, 2002).

¹⁴⁸ A única menção à famosa mão invisível em a Riqueza das Nações é justamente no capítulo onde elogia a política protecionista inglesa para a indústria naval, embora como exceção à regra geral de que a taxa das importações não melhoraria o bem estar de um povo (SMITH, 1996, p. 758). Uma motivação econômica para a guerra da secessão teria sido a divergência entre os Estados do Norte que preferiam proteção comercial para incentivar o desenvolvimento industrial baseado em substituição de importações e os Estados agrícolas do Sul, que entendiam o livre comércio como mais benéfico a suas exportações (REINERT, 2009).

2.3.1.3 Falhas de Mercado

Se nem os atuais paladinos das fronteiras abertas chegaram aonde chegaram sem “trapacear”¹⁴⁹, talvez a máquina de Baumol, isto é o mercado, não seja tão milagrosa assim e precise de graxa às vezes, ou até um empurrão para não engripar ou mesmo para arrancar. O mercado, em geral perfeito, falharia na hora de prover certos bens e serviços, quando seria incapaz de operar o usual milagre de fazer com que as firmas, ao maximizar seus lucros, automaticamente provessem exatamente as quantidades socialmente ótimas.

Diferentes dos bens e serviços em geral, aos que fazem a máquina engasgar faltam duas características importantes. Uma é a não excludência: não é possível a seu produtor evitar que outras pessoas, que não aquelas que pagam por seu produto, dele usufruam. A outra é a não rivalidade: o fato de mais alguém usufruir do bem ou serviço gratuitamente em pouco ou nada prejudica quem por ele paga. Sem estas características, que determinam a apropriabilidade, o produtor tende a não ser adequadamente remunerado, já que não conseguirá sozinho evitar que muitos usem seu produto de graça, nem contará com o egoísmo dos poucos que pagam para ajudá-lo. É o caso do violinista que decide ganhar a vida tocando em estação do metrô: não pode tapar os ouvidos dos que não colocam moedas em seu estojo, nem aos generosos incomodam os que escutam de graça. Talvez por isso, mesmo com boa vontade das autoridades metro-ferroviárias, as monótonas plataformas não se transformaram, em geral, em concorridas salas de concerto. Bens não rivais e não excluíveis são conhecidos em microeconomia como bens públicos e, em função da dificuldade de remuneração a seus produtores, geralmente não são providos nas quantidades socialmente desejáveis pelo mercado.¹⁵⁰

¹⁴⁹ O Japão protegeu sua indústria até os anos 1970, tentando alcançar os EUA, que foram protecionistas enquanto estavam atrasados em relação à Inglaterra e Alemanha, que fez o mesmo para alcançar a Inglaterra, que também se protegeu enquanto perseguia a Holanda (MAIO, 2009).

¹⁵⁰ Usualmente são apontadas como falhas de mercado: existência de monopólio natural; de bem público; externalidade; informação imperfeita e mercado incompleto (MOREAU, 2004). À nossa abordagem interessam a segunda, pelo caráter de bem comum atribuído ao conhecimento técnico e a última, pois a falta de mercado contingente impediria que agentes se protegessem da incerteza inerente ao processo inovativo.

O modelo de falhas de mercado,¹⁵¹ para não desistir de tratar o conhecimento tecnológico como um bem, supõe que seja um bem público. Nenhum comprador estaria disposto a pagar por uma nova ideia o valor correspondente ao benefício que ela proporcionaria a toda sociedade, por esta razão, o mercado totalmente livre falharia em suprir inovações adequadamente. Esta falha é conhecida como o “problema da apropriabilidade”. Haveria ainda duas outras falhas afetando principalmente a provisão de pesquisa básica: dificuldade dos agentes privados em precificar pesquisa científica básica *vis-à-vis* pesquisa aplicada e a falha do mercado de capitais em avaliar riscos e financiar adequadamente P&D.¹⁵²

Um **mecanismo** para o surgimento da Mudança Técnica que casaria bem com esse modelo seria o do modelo linear de Bush¹⁵³ que já abordamos.¹⁵⁴ Inovação seria produto da aplicação de recursos a Pesquisa e Desenvolvimento que constituem as **atividades** cuja execução faz surgir a mudança técnica, com precedência causal e destaque para a ciência básica em relação à pesquisa aplicada. Mas, justamente a pesquisa científica básica é a que mais padece com as falhas de mercado: a colaboração entre pesquisadores e a própria publicação dos resultados inviabiliza a exclusão de qualquer interessado. Tendo características de bem público, como segurança nacional ou faróis costeiros, a ciência básica não é adequadamente fornecida pelo mercado. O custo de descobrir que uma corrente elétrica provoca um campo magnético em nada foi afetado pelos inúmeros engenhos, do motor elétrico ao rádio, que dela derivaram. Nem pôde Hans Ørsted cobrar um centavo aos agradecidos inventores que usufruíram de sua descoberta.

Então, aplicada ao processo de mudança técnica, a teoria das falhas de mercado traduz-se em reforma da vertente anterior, pois o **agente** da inovação, o mercado, não será por si só capaz de produzir a quantidade socialmente desejável de conhecimento técnico em razão das falhas acima relatadas. Uma vez identificada

¹⁵¹ Este modelo se aproxima do *rationale* “teoria de crescimento endógeno schumpeteriano” em Laranja, Uyarrá e Flanagan (2008). Preferimos considerá-lo uma vertente do modelo neoclássico uma vez que as ideias que representa já foram incorporadas a este referencial teórico, além do que não nos parece que seja tão fiel ao pensamento de Schumpeter a ponto de ser batizado em sua homenagem.

¹⁵² (AGHION; DAVID; FORAY, 2009). Mas que poderíamos associar à incerteza e mercados incompletos em Moreau (2004).

¹⁵³ Que ficou assim conhecido em função do famoso texto “Ciência: a fronteira sem fim” (BUSH, 1945).

¹⁵⁴ Primeira Seção do Capítulo Primeiro.

a falha, três cursos de ação estariam ao alcance do formulador de políticas: atribuir a instituições públicas o papel de **agente** da Mudança Técnica, consertar o mercado, ou não fazer nada. O custo de cada opção determinará a escolha. O custo de não fazer nada é o da perda social por inovar de menos. Se este for menor do que o das duas primeiras opções,¹⁵⁵ ela será a preferida. Mas, aí, apesar das diferenças introduzidas neste modelo, caímos na mesma “não política” dos dois casos anteriores.

Se valer à pena agir, da mesma forma a escolha recairá sobre a menos custosa das duas primeiras alternativas.¹⁵⁶ Assim, a pesquisa básica que caracteriza determinado gene beneficia economicamente médicos, hospitais e laboratórios farmacêuticos, mas restringir o acesso à descoberta aos agentes dispostos a pagar por ela implica em custos, sociais e econômicos. Se tais custos forem moderados em relação ao benefício propiciado pela atividade, podem ser intencionalmente realocados de forma a garantir que o mercado se encarregue da atividade, por exemplo, concedendo propriedade intelectual a pesquisadores e instituições atuando em pesquisa básica. Por outro lado, se tais custos forem elevados, simplesmente não vale à pena consertar o mercado para que ele execute a atividade faltante, deixando-a a cargo de outro agente, uma instituição coletivamente financiada.

Desta maneira, o modelo de falha de mercado pode induzir diferentes instrumentos de política de incentivo à inovação, dependendo do diagnóstico adotado, isto é, a grandeza relativa dos custos sociais envolvidos, que seria o critério para dividir as atividades entre dois regimes organizacionais: “Ciência Aberta” e

¹⁵⁵ O que pode acontecer, por exemplo, se as ineficiências das burocracias ou do governo forem grandes ou se este for cooptado por grupos de interesse privado (CASTRO, 2002). Tentamos aqui reproduzir o raciocínio do modelo, resistindo à tentação de discutir se os problemas teóricos ou práticos de computar tais custos eliminariam a utilidade do conceito.

¹⁵⁶ Arrow (1969) classifica os custos relevantes em: (i) custos de exclusão; (ii) custos de informação e (iii) custos de desequilíbrio. O primeiro tipo é tratado no texto, o segundo apoia-se na premissa que a incerteza inerente à economia pode ser reduzida se se empreender o esforço de criar instrumentos financeiros para securitização das transações econômicas, bem como caracterizar os estados da natureza relevantes e difundir tal informação entre os agentes envolvidos. O terceiro tipo relaciona-se ao tempo que a informação, perfeita ou não, demora a se propagar pelo mercado, permitindo que transações inconsistentes com o equilíbrio final e, portanto, ineficientes ocorram ou que estas sejam postergadas até que a informação esteja difundida. Baumol (2002) vai mais longe acreditando ser possível estabelecer um mercado para inovação, lucrativo a ponto de empresas inovadoras dedicarem-se a comercializar os direitos de uso de suas ideias, ao invés de produzirem diretamente artefatos nelas baseados.

“Pesquisa Proprietária”. Além de classificar as atividades de P&D adequadamente, formulador de políticas públicas de incentivo a inovação deveria tratar da integração entre os dois regimes que não raramente constituem mundos separados, como academia e indústria.¹⁵⁷

Se os custos relevantes são os de exclusão, mas estes são moderados, indica-se um sistema de patentes que permita ao inovador apropriar-se de parcela significativa dos benefícios gerados por sua criação. Se importam mais os custos relacionados à informação e incerteza, mas estes são moderados, a concessão de incentivos a empresas privadas, na forma de financiamento público, isenção de impostos ou *grants* suportados por toda a sociedade é a maneira mais efetiva de superar a deficiência do mercado. Se for este o caso, mas os custos forem significativos, organizações se especializarão em Pesquisa Científica financiada pelo Estado em detrimento à exploração econômica do conhecimento produzido, integrando-se naturalmente ao setor público.¹⁵⁸

No fim da década de 1980, em função da desaceleração de sua economia implicitamente associada à diminuição da capacidade inovar, o Senado dos EUA aprovou o *Bayh-Dole Act*, permitindo que instituições e pesquisadores patenteassem como seus resultados de pesquisas financiadas pelo público.¹⁵⁹ Um instrumento deste tipo poderia ser justificado pelo modelo de falhas de mercado, supondo que o diagnóstico subjacente seja que os custos de incerteza e informação são elevados, motivando o financiamento público da Pesquisa, mas os de exclusão, embora também relevantes, são moderados, podendo ser superados pela coordenação via mercado de direitos de propriedade intelectual.

O avesso deste diagnóstico, isto é, supor que custos de exclusão eram elevados e os de incerteza/informação moderados quando do desenvolvimento do Transístor e do computador permitiria ao modelo justificar a política do DARPA nos anos 1960 que deixou para firmas como AT&T, Fairchild e IBM o protagonismo em

¹⁵⁷ Evidenciando o desafio de coordenação entre *Open Science* e *Proprietary Research* e a separação entre a “República da Ciência” e os pesquisadores envolvidos em atividades com interesse comercial (AGHION; DAVID; FORAY, 2009).

¹⁵⁸ Essa é a lógica do modelo linear de Bush, onde instituições estatais se ocupam naturalmente da ciência básica (VALLAS; KLEINMAN; BISCOTTI, 2011).

¹⁵⁹ (HURT, 2011)

P&D, ao mesmo tempo em que foi favorável a direitos de propriedade relativamente fracos e patrocinava a troca de informações entre grupos de pesquisa concorrentes.¹⁶⁰

¹⁶⁰ O desenvolvimento de semicondutores, eletrônicos e computadores foi impulsionado por políticas públicas que envolviam financiamento, compras governamentais e formação de capital humano, principalmente em suas fases iniciais. Entretanto, a adoção massiva de tais tecnologias nos EUA, diferentemente da Europa e Japão, ocorreu, em larga medida, graças ao regime de propriedade intelectual relativamente fraco e, em muitos casos, ao incentivo à difusão de tecnologia entre firmas (MOWERY, 2011).

2.3.2 O Mundo visto como uma escada

Naturalmente, modelos de inspiração neoclássica como o anterior terão pouca vocação para explicar a heterogeneidade da mudança técnica, que é justamente a preocupação central deste capítulo. Neles as diferenças entre os níveis de desenvolvimento econômico entre sociedades são desvios temporários do equilíbrio que, agindo as forças de mercado, tenderão a desaparecer. Também não há diferença qualitativa entre atividades econômicas de forma que se cada sociedade se especializar nos setores que detém vantagens comparativas, terminará por proporcionar remuneração internacionalmente equivalente aos fatores de produção que detém, inclusive trabalho.

Reunimos nesta seção modelos que, embora construídos em bases teóricas bastante distintas, compartilham a constatação que as atividades econômicas são qualitativamente distintas, com umas propiciando melhores empregos, produtividade, oportunidades de aprendizado e remuneração que outras. Assim a estrutura produtiva, constituída por atividades econômicas superiores e inferiores, determina o nível de desenvolvimento econômico de uma sociedade e a mudança estrutural ou *upgrade* da estrutura produtiva seria o caminho para que nações periféricas alcancem as ricas. Iniciaremos pela corrente Estruturalista¹⁶¹ para, a partir dela, abordar as argumentações que a criticam diretamente ou com ela dialogam como GIF (*growth identification and Facilitation*) e as contribuições de Ha-Joon Chang e Erik Reinert, compondo os três modelos que seguem.

Por esta visão, inovações tecnológicas surgem nas nações desenvolvidas, mas após lá produzirem benefícios importantes e amadurecerem, propagam-se para os países em desenvolvimento, de acordo com a capacidade de absorção destes.¹⁶² Formam-se assim um centro, onde são produzidos bens tecnologicamente mais avançados e com maior valor agregado e uma periferia, onde são explorados recursos naturais e executados processos produtivos baseados em

¹⁶¹ Escola de pensamento econômico iniciada por Raúl Prebisch e desenvolvida pela CEPAL (Comissão Econômica para América Latina e Caribe), órgão da ONU (Organização das Nações Unidas).

¹⁶² Mecanismo de crescimento econômico descrito em Ocampo (2014, p. 47).

tecnologias consolidadas. Dado o caráter dinâmico da mudança técnica, tal configuração não é estática e é possível dispor a intensidade tecnológica das estruturas produtivas em uma escada, ordenando as economias da mais primária, baseada em recursos naturais e produção intensiva em mão de obra, para a mais avançada, baseada em conhecimento em inovação.

Enxergam também uma direção comum para a mudança estrutural – a industrialização, como forma de “subir” a escada. Além de propiciar desenvolvimento econômico pela concentração de recursos em setor mais produtivo, o processo de industrialização fomenta a transmissão tecnológica do centro para a periferia, via importação de bens de capital necessários à produção que incorporam tecnologias não disponíveis localmente, bem como o aprendizado decorrente da aplicação destas tecnologias.¹⁶³

Mesmo não duvidando que tenha acontecido, sabemos que reinventar a roda é irracional, afinal, o andar debaixo ao menos dispensa seus ocupantes de cometer os mesmos erros que os que estão acima cometeram enquanto descobriam uma nova tecnologia.¹⁶⁴ Importar uma tecnologia madura e amortizada será normalmente mais rápido e barato do que desenvolvê-la localmente, mas, sendo fiel ao conceito de mudança técnica esboçado no primeiro capítulo, estes modelos são essencialmente de *catch-up* tecnológico e não de inovação e a política decorrente é industrial e não necessariamente de inovação. Parodiando Mateus, os últimos só serão os primeiros quando e se se chegar ao topo da escada, tentando o salto para a fronteira tecnológica.¹⁶⁵

Os três modelos apresentados a seguir, mesmo o segundo que tem fundamentação *mainstream*, avançam em relação aos anteriores, puramente neoclássicos, ao retirar do mercado e entregar a um conjunto de firmas do setor industrial o papel de **agente** da mudança técnica que surge no seio de sua **atividade** produtiva. Adiciona também pela primeira vez um **mecanismo** pelo qual

¹⁶³ Ocampo (2014, p. 42) destaca também os encadeamentos produtivos com indústrias de outros países e as economias dinâmicas de escala geradas pelo aprendizado industrial.

¹⁶⁴ A Vantagem do Atraso, tradução própria de “*The advantage of backwardness*” (LIN; TREICHEL, 2014, p. 73).

¹⁶⁵ Os 3 passos inescapáveis para toda nação que pretende chegar à vanguarda tecnológica seriam: adquirir novas tecnologias, aprender como usá-las e criar melhoramentos a partir delas (LIST, 1841).

ocorre a mudança técnica: através da importação de tecnologia incorporada principalmente no maquinário produtivo (bens de capital) e o aprendizado propiciado por sua utilização na produção industrial, levando eventualmente à fabricação de novos produtos com a mesma tecnologia, à melhoria da tecnologia importada ou ao desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas.

Assim os modelos, embora com mesmo **agente, atividade e mecanismo**, sugerem políticas distintas porque, como veremos a seguir, discordam do **diagnóstico** para a falha em inovar. Ainda que apontem principalmente a escassez de capital como barreira a ser vencida, enxergam diferentes formas de superá-la.

2.3.2.1 Escada não, andaime

Trataremos aqui do Estruturalismo Cepalino, influente entre acadêmicos e governantes da América Latina pelo menos entre o meio do século passado e a década de 1980. O **diagnóstico** apontado por esta corrente é que a pouca diversidade industrial e a restrição externa se agravam mutuamente e estão na origem das dificuldades enfrentadas pelos países periféricos em industrializarem-se e, portanto, inovar. A atualização tecnológica de um ou poucos segmentos industriais é insuficiente e inviável. É preciso subir em direção à fronteira tecnológica por todos os flancos, adensando as cadeias produtivas, produzindo localmente insumos básicos e intermediários,¹⁶⁶ daí a necessidade de divisas para importar bens de capital e tecnologia.¹⁶⁷ Claro que florestas de eucalipto e rios de tinta consumidos para expressar o pensamento estruturalista em sua riqueza e complexidade não podem ser resumidos em um parágrafo, mas o modelo aqui descrito poderia justificar as políticas defendidas e empregadas. Protecionismo comercial e controles cambiais¹⁶⁸ priorizam o uso da moeda forte obtida pela exportação de produtos básicos para a aquisição de máquinas e tecnologia importada. À medida que a indústria doméstica substitui importações de complexidade crescente – nem que para tanto o Estado tenha que se tornar empresário¹⁶⁹ – montante maior de divisas ficaria disponível para o *upgrade* tecnológico da economia.

¹⁶⁶ O desenvolvimento do setor industrial implica em encadeamentos produtivos à montante e à jusante muito mais significativos que os do setor primário, com consequente impacto à difusão tecnológica. Outro tipo de encadeamento identificado mais recentemente em Hausmann e Hidalgo (2011) está relacionado ao “espaço de produtos”, que os dispõe de acordo com os insumos e fatores necessários à sua produção, que são invariavelmente específicos, facilitando a migração ou expansão para ramos de produção próximos e inviabilizando para os distantes. Assim, diferentes densidades no espaço de produtos engendrariam distintas oportunidades econômicas (OCAMPO, 2014).

¹⁶⁷ A Cepal tradicionalmente atribui ao balanço de pagamentos papel importante na definição dos ciclos econômicos de curto prazo nas nações periféricas. Além das políticas listadas na nota seguinte, Ocampo (2014) destaca o papel dos empréstimos multilaterais externos e bancos nacionais de desenvolvimento no financiamento da industrialização. No caso brasileiro, Fritsch e Modiano (1988) colocam a falta de poupança interna ao lado da restrição externa como obstáculos ao investimento industrial.

¹⁶⁸ Com variações entre países, foram utilizados controles nos mercados de câmbio e capitais, tarifas e cotas de importação, taxação de exportações tradicionais e subsídios às não tradicionais, múltiplas taxas de câmbio e desvalorizações graduais (OCAMPO, 2014, p. 43).

¹⁶⁹ O que efetivamente ocorreu no Brasil no II PND (plano nacional de desenvolvimento) que buscou “completar” o setor produtivo nacional investindo em setores como o siderúrgico, papel e celulose e bens de capital (CASTRO; SOUZA, 1985).

Não é fácil atribuir causalidade entre a derrocada da indústria na América Latina e o abandono das políticas industriais. Defensores do estruturalismo Cepalino reconhecerão nas crises do petróleo dos anos 1970 e da dívida da década de 1980, além do *tsunami* liberalizante do Consenso de Washington e da apreciação cambial no combate à inflação, as causas para a desindustrialização precoce que se abateu sobre a região antes que a transformação estrutural se completasse. Críticos, abordados nas seções seguintes, verão nas deficiências inerentes às próprias políticas industriais o germe da decadência econômica enfrentada a partir da metade dos anos 1980. Interessa notar que o próprio pensamento estruturalista Cepalino, a partir de determinado momento, passa a reconhecer excessos no modelo de substituição de importações e aponta como nova estratégia a criação de “novas vantagens comparativas”. É justamente em torno deste conceito – vantagens comparativas – que orbitam os dois próximos modelos, que criticam e dialogam com o modelo Estruturalista, conforme veremos adiante.¹⁷⁰

2.3.2.2 Limpendo degraus

Abordaremos agora o modelo baseado na linha de pensamento de cunho neoclássico que se autodenomina “Identificação e Facilitação do Crescimento” ou “Nova Economia Estrutural”¹⁷¹ e baseia-se na contribuição de Justin Yifu Lin, que aponta como pecado do “velho estruturalismo” o desafio às vantagens comparativas. Em um dos raros conceitos não intuitivos¹⁷² em Economia, David Ricardo ensina que para negociar bens vantajosamente não é preciso ser capaz de produzi-los de forma mais eficiente que outros no mercado. Basta que os bens ofertados sejam os que se produz com maior eficiência, em comparação a outros bens que se pode produzir. Um trabalhador, uma firma ou um país pode ser ruim em tudo que faz e ainda assim

¹⁷⁰ Ocampo (2014, p. 44) relata que políticas industriais foram modificadas para aproveitar novas oportunidades de exportação que surgiram a partir dos anos 1960. Ao invés de isolar a região, a estratégia é procurar criar novas vantagens comparativas, redefinindo a divisão de trabalho internacional.

¹⁷¹ GIF – *Growth Identification Facilitation / New Structural Economics* em tradução própria.

¹⁷² Somente haveria mais dois conceitos não intuitivos : demanda efetiva de Keynes e inovação em Schumpeter (LIN; CHANG, 2009).

encontrará compradores para o serviço ou produto em que é menos ruim, aquele em que é comparativamente melhor.

Para além das diferenças de dotações de recursos naturais, há países onde o capital é relativamente abundante, que por isso se especializam na produção de bens e serviços tecnologicamente mais complexos, enquanto outros, onde sobra mão de obra, se dedicam ao suprimento dos mais simples. O erro fatal dos países periféricos que aplicaram o “velho estruturalismo” teria sido desafiar suas vantagens comparativas latentes, fomentando domesticamente o mesmo tipo de indústria que conferia dinamismo às economias centrais, sem considerar que a escassez local de capital¹⁷³ reduz a competitividade a ponto de o setor só sobreviver à custa de protecionismo, subsídio e monopólio, redundando em mais ineficiência e o desmoronamento do sistema assim que o Estado não quisesse ou pudesse manter as distorções.¹⁷⁴

Mas, diferentemente da análise econômica neoclássica que a Nova Economia Estrutural se propõe a integrar,¹⁷⁵ esta reconhece que a emenda não foi melhor do que o soneto: as políticas liberais ligadas ao Consenso de Washington que substituíram as estruturalistas decepcionaram em termos de crescimento econômico e geração de emprego, levando vários países a crises.¹⁷⁶ Vale-se dos mesmos exemplos de *catching-up* do início da era industrial, Inglaterra *versus* Holanda e EUA, França e Alemanha *versus* Inglaterra, que acima ilustram a onipresença da intervenção estatal, para corroborar sua tese de que políticas industriais são bem-sucedidas se não desafiam as vantagens comparativas existentes.¹⁷⁷

¹⁷³ Lin e Treichel (2014) classifica em sua tabela 2.1 como “ambições irrealistas” (tradução própria), as incursões industriais entre as décadas de 1950 e 1970 de China, Congo, Índia, Senegal, Turquia e Zâmbia no setor automobilístico, da Indonésia em Construção Naval e do Egito em Química e Siderurgia. Usando como *proxy* da disponibilidade relativa de capital a renda *per capita*, aponta que, nos países listados, esta situava-se apenas entre a vigésima parte e um quinto da renda do país líder no setor em questão, normalmente os EUA.

¹⁷⁴ Inicialmente as políticas de matiz estruturalista no Leste Europeu pareceram bem sucedidas graças à maciça mobilização de recursos estatais, que não obstante levaram à estagnação econômica quando os governos perderam a capacidade de mobilizar recursos e manter subsídios (LIN; TREICHEL, 2014, p. 67).

¹⁷⁵ (LIN; TREICHEL, 2014, p. 69).

¹⁷⁶ (LIN; TREICHEL, 2014, p. 68).

¹⁷⁷ Diferentemente dos casos de fracasso no século XX, nestes as rendas *per capita* se situavam entre 65% e 75% da correspondente à nação líder (LIN; TREICHEL, 2014, p. 74).

Em uma escada, tecnológica ou não, é aconselhável subir um degrau por vez. Esta recomendação resume grosseiramente as políticas de identificação e facilitação do crescimento,¹⁷⁸ que acusa as políticas estruturalistas de desafiarem as vantagens comparativas latentes. Para escapar de malogro semelhante, ao invés de imitar quem está no topo, sugere que o Estado escolha apoiar dentro do setor industrial os segmentos que cresceram aceleradamente em países não tão acima na escada tecnológica,¹⁷⁹ e dentre estes os que já tenham surgido espontaneamente.

Apesar das notáveis diferenças – reconhecer um papel para política industrial, ainda por cima vertical, elegendo segmentos dentro da indústria – de resto não se aparta muito dos modelos *mainstream* anteriores ao associar requisitos que devem ser superados a falhas de mercado, como a dificuldade de excluir firmas que não investiram em inovação quando o conhecimento decorrente do investimento de outras se torna disponível, ou financiamento a novas empresas, melhoramentos em infraestrutura, educação e instituições legais. Assim, da mesma forma que no modelo de falhas de mercado, o instrumento adequado depende tipo e do custo de correção da falha: a desvantagem do inovador pioneiro seria corrigida através de subsídios, enquanto outros requisitos poderiam ser supridos pelo Estado ou instituições apropriadas. Mas agora o **diagnóstico** para a dificuldade em inovar - a distância da fronteira tecnológica - restringe o foco e intensidade dos instrumentos de política: desimpedir o caminho apenas das empresas que exploram as vantagens comparativas latentes e somente para que estas subam ao próximo degrau. Maior abrangência e/ou pular degraus implicariam em custo social e “risco de queda” excessivos.¹⁸⁰

2.3.2.3 Chutando a escada

O último modelo desta sequência agrupa as contribuições de Ha-Joon Chang e Erik Reinert que se contrapõem aos argumentos de Lin apresentados na seção anterior, regressando parte da distância que este se afastou do estruturalismo

¹⁷⁸ Lin e Treichel (2014) sugerem uma estratégia de seis passos para identificar e fomentar as vantagens comparativas latentes.

¹⁷⁹ Indústrias que tenham crescido aceleradamente durante os últimos 20 anos em países com renda *per capita* de cerca de duas vezes a da nação em busca de *catching-up* é a regra defendida em Lin e Treichel (2014).

¹⁸⁰ (LIN; CHANG, 2009)

da Cepal da primeira seção. Os eventuais excessos associados a este último não anulam o abundante histórico de protecionismo e política industrial nas nações que hoje desenvolvidas parecem querer “chutar a escada”, evitando que outras cheguem ao patamar onde se encontram.¹⁸¹

Como costuma ocorrer com modelos de inspiração neoclássica, o de identificação e facilitação do crescimento também é criticado por não refletir adequadamente a realidade, tratando aspectos desta que aderem ao modelo como regra geral e ignorando os casos contrários. Chang argumenta, por exemplo, que a indústria de telefonia celular finlandesa, a automotiva japonesa e a siderúrgica, de construção naval e de semicondutores coreana se desenvolveram desafiando as vantagens comparativas latentes. Defende que pular muitos degraus é custoso e arriscado, mas subir só um degrau por vez é demorado e penoso, então o melhor é galgar um punhado deles a cada passo, conforme o tamanho das pernas.¹⁸²

A aceitação de que “a mera exploração das vantagens comparativas latentes não seria suficiente e que pular diretamente para ao último degrau não é possível” não explica porque Finlândia, Japão e Coreia conseguiram subir a passos largos e outros tantos não. O **diagnóstico** implícito é que a competição com países centrais e as regras de proteção intelectual impediriam o florescimento dos setores escolhidos, mas seriam importantes no aperfeiçoamento destes quando já estivessem maduros. A política decorrente, que deste ponto de vista específico se coloca como meio termo entre o estruturalismo e a GIF, defende que as barreiras comerciais e proteções intelectuais sejam moduladas ao longo do tempo. As políticas públicas deveriam a princípio facilitar a imitação de tecnologias estrangeiras e proteger a indústria nascente até que esta amadureça. Depois, submetida à disciplina de mercado pela abertura comercial, novos ganhos de produtividade

¹⁸¹ *Kicking away the ladder*, em tradução própria, é parte do título do artigo onde Chang (2003) faz interessante revisão das políticas tarifárias e industriais de diversos países em seu processo de industrialização.

¹⁸² A argumentação e os exemplos foram retirados de Lin e Chang (2009), onde o segundo autor sugere uma curva de crescimento em função da distância da tecnologia incentivada às vantagens comparativas latentes em formato de “U” invertido. Quanto menor a distância, menor o custo imposto aos outros setores da economia, mas mais lento o crescimento. À medida que a distância aumenta, aumenta também o crescimento, porém a partir de certo ponto, o custo social será tão elevado que passa a prejudicar o crescimento.

seriam forçosamente obtidos e mudanças técnicas geradas¹⁸³. Por sua filiação neoclássica faltaria à teoria de identificação e facilitação reconhecer que houve proteção inicial em todo *catching-up* bem-sucedido, enquanto a falta de disciplina externa explicaria a falha da prática estruturalista na América Latina.¹⁸⁴

-- * --

Ao verificar que os mesmos **agente, atividade e mecanismo** permitem explicar o processo inovativo, terminamos por aproximar linhas de pensamento ideologicamente muito distantes e até antagônicas. Como é próprio aos modelos, ao destacar algumas arestas e ocultar outras, assemelhamos os dissemelhantes.

Entretanto, a grande novidade é que ao incluir um mecanismo específico para a dinâmica da mudança técnica, a heterogeneidade tecnológica se torna inerente aos três modelos precedentes, o que permite olhar especificamente para economias periféricas e reconhecer como papel dos instrumentos de política pública a busca deliberada de *upgrade* tecnológico, em segmentos, setores ou toda uma economia. O extremo oriente não nos deixa esquecer que subir é bom,¹⁸⁵ mas a escada ganha um novo degrau cada vez que o líder dá um passo e quem está embaixo, embora subindo sempre, sempre ficará com atividades menos rentáveis.¹⁸⁶

¹⁸³ Esta estratégia em duas etapas sequenciais: imitação com proteção e abertura comercial teria sido empregada por todas as nações que foram de alguma forma bem sucedidas no processo de *catching up*, inclusive pela Inglaterra na primeira revolução industrial (REINERT, 2009).

¹⁸⁴ Esta é a percepção comum de vários autores (MAIO, 2009).

¹⁸⁵ A política de upgrades tecnológicos sequenciais a partir das vantagens comparativas latentes propiciou grande crescimento econômico e de bem-estar em países do leste asiático (LIN; CHANG, 2009).

¹⁸⁶ Situação conhecida na literatura como armadilha da renda média (FORTUNATO; RAZO, 2014).

2.3.3 Tamanho é Documento

Guardando compatibilidade com o modelo anterior que atribui a firmas do setor industrial o papel de **agente** da mudança técnica, tratemos nesta seção do caso em que o protagonismo é entregue às grandes empresas e conglomerados deste setor. A importância agora recai, não mais no peso relativo dos setores e sua evolução ao longo do tempo, mas no papel da grande firma, em especial do seu departamento de Pesquisa e Desenvolvimento. Por sua conformidade com a ideia de mudança técnica presente em obras mais recentes de Schumpeter, chamamos este modelo de Mark II.¹⁸⁷ Assim a **atividade** pela qual surge a inovação se desloca da produção, no modelo anterior, para Pesquisa e Desenvolvimento. Porém, como ficará claro pelo contraste com os modelos seguintes, o fundamental aqui é que P&D é um departamento de uma corporação produtiva que como os demais se beneficia da sistematização e racionalização do trabalho, bem como dos ganhos de escala e escopo,¹⁸⁸ além de sinergias entre departamentos. Inovar é uma rotina, repartida, planejada e controlada com tempos e métodos, como a fabricação.

Vimos que a principal recomendação de política que poderíamos derivar do modelo que chamamos de neoclássico seria a negação de quase toda Política Industrial, com exceção talvez de políticas que visem consertar deficiências do mercado, como por exemplo regras *anti-trust* e contra concentração de mercado que evitariam a formação e permanência de monopólios. Curiosamente, o modelo Mark II permitiria recomendar a supressão de tais regras. Os escritos pioneiros que associamos a este modelo para inovação ergueram-se em defesa dos oligopólios e monopólios, justamente durante o *New Deal* quando iniciativas em defesa da concorrência colocaram as grandes empresas norte-americanas na berlinda. Argumentavam explicitamente que por serem os agentes da inovação, as firmas com

¹⁸⁷ A segunda conceituação para o processo inovação de Schumpeter, conhecida como Schumpeter Mark II, estabelecida em textos como Schumpeter (1994), *The Creative Response in Economic History* (1947), *Theoretical Problems of economic Growth* (1947), *Economic Theory and Entrepreneurial History* (1949) e *The Historical Approach to the Analysis of Business Cycles* (1949) conforme Śledzik (2013).

¹⁸⁸ Conforme Śledzik (2013), o segundo marco teórico de Schumpeter surgiu da observação do capitalismo norte-americano e suas grandes corporações, que é também foco analítico em Chandler (1994).

grande poder de mercado terminam por criar mais bem-estar dinamicamente do que o que hipoteticamente seria obtido via eficiência estática da concorrência perfeita.¹⁸⁹

Mais recentemente, a tolerância, incentivo e apoio que *Keiretsus* e *Chaebols*, conglomerados japoneses e coreanos,¹⁹⁰ receberam de seus respectivos governos e sociedades podem ser vistos como exemplos de políticas associadas a este modelo, implicitamente atribuindo a este tipo de organização corporativa a primazia da industrialização, crescimento e inovação. Neste período, na América Latina, as circunstâncias em geral não produziram grandes conglomerados privados domésticos e o espaço, quando ocupado, o foi por grupos multinacionais e estatais. Já neste século o Brasil apoiou a criação de campeões nacionais, através de financiamentos e aportes do BNDES, arma poderosa,¹⁹¹ mas que não se compara ao arsenal de incentivos fiscais, financiamentos, leis e pressões específicas que tigres asiáticos lançaram mão anos antes para forçar o crescimento e consolidação de seus conglomerados industriais.¹⁹²

Já tendo identificado a grande corporação industrial como o **agente** da mudança técnica e a Pesquisa & Desenvolvimento corporativo como a **atividade** que a propicia, resta apontar **diagnóstico** para a eventual deficiência em inovar. Natural que neste caso seja genericamente relacionado a tamanho: se não inova bastante é porque não tem poder de mercado, escala de produção ou capital para investir em P&D ou produção. Daí se justificam tolerância à concentração de mercado, financiamento através de bancos públicos e incentivos explícitos à consolidação mencionados acima.

¹⁸⁹ A defesa do *Big Business* como criador de bem estar é explícita em Schumpeter (1994, pp. 101-102).

¹⁹⁰ (GRABOWIECKI, 2006).

¹⁹¹ (ALMEIDA, 2009).

¹⁹² (MAIO, 2009).

2.3.4 O Inventor Herói no Parque dos Dinossauros

Trataremos aqui das ideias que atribuem às pequenas empresas a primazia da mudança técnica. Percorrendo ao revés o caminho do pensamento de Schumpeter, chegamos ao modelo que denominamos Mark I, onde a mudança técnica é fruto da genialidade e determinação de um indivíduo ou pequena empresa.¹⁹³ Ainda que este modelo possa ser associado a estágios iniciais do desenvolvimento capitalista ou de uma nova indústria, ou até considerado uma fantasia romântica que nunca realmente prevaleceu,¹⁹⁴ sobrevive em textos acadêmicos e ao menos tacitamente nas motivações de formuladores de políticas públicas.

Em meio às transformações econômicas dos anos 1970 e 80, parece que formuladores de políticas e público em geral nos EUA passaram a ver as grandes corporações menos como fontes dinâmicas de inovação e crescimento e mais como dinossauros.¹⁹⁵ Enquanto a grande empresa, satisfeita com o *status quo*, seria essencialmente não inovadora, ou no máximo engajada em inovações incrementais,¹⁹⁶ a pequena empresa comandada pelo empreendedor/inventor é o **agente** da inovação radical do modelo. O surgimento da inovação na economia é como descrito por Schumpeter: o empreendedor reconhece uma grande ideia, dele mesmo ou de um inventor com quem trava conhecimento, organiza uma empresa, motiva trabalhadores, convence investidores e financiadores de forma a obter capital financeiro para desviar recursos físicos e humanos e de seu uso comum no fluxo

¹⁹³ É esta a distinção que se faz entre os marcos teóricos Schumpeter Mark I e Mark II. Naquele cabia ao *entrepreneur* o papel de transformar invenção, sua ou de outros, em inovação, desviando os recursos necessários de seu uso regular através da mobilização de capital financeiro como descrito por Schumpeter (1997), neste a inovação surge no seio da grande corporação, fruto das rotinas executadas pelos departamentos de P&D, conforme nota anterior.

¹⁹⁴ A tese de Hargadon (2003) é que a Mudança Técnica sempre nasceu da colaboração entre indivíduos. Mesmo o gênio individual mais simbólico, Thomas Edison, receberia as glórias por questões de *marketing*, enquanto as inovações eram gestadas em equipe no ambiente propositalmente colaborativo de seu Menlo Park.

¹⁹⁵ Vallas, Kleinman e Biscotti (2011) e Negoita (2011) atestam a proliferação de políticas e programas, várias delas focadas na pequena empresa, que buscavam dar novo fôlego ao crescimento econômico via mudança técnica, assim como as dificuldades políticas em apoiar grandes empresas.

¹⁹⁶ Este é o ponto de vista defendido por Baumol, Litan e Schramm (2007), que enxergam na retomada do crescimento econômico nos EUA nos anos 1990 um tipo de capitalismo que denominam *Entrepreneur Capitalism*.

circular para o novo negócio,¹⁹⁷ de forma que o modelo prescinde da especificação de mecanismo, que está incorporado à fisiologia do personagem heroico.

Então, logicamente o primeiro **diagnóstico** para a falta de dinamismo tecnológico se reduz ao desencontro entre dois tipos raros - empreendedores¹⁹⁸ e inventores - e destes com investidores, bancos e trabalhadores qualificados. Além disso, em um mundo dominado por dinossauros, pequenas criaturas normalmente têm dificuldade em achar, mas facilidade em virar alimento. As pequenas empresas que vencem as barreiras iniciais podem fracassar totalmente em seu papel de motor da mudança técnica por não encontrar demanda para seus produtos e serviços ou não suportar a competição das grandes empresas, e este seria o segundo **diagnóstico** que poderíamos associar ao modelo.

Seguindo o primeiro diagnóstico, América Latina e Formosa, entre outros lugares, enxergaram a falta de financiamento como obstáculo e valeram-se de seus bancos oficiais para facilitar e subsidiar o crédito à pequenas empresas.¹⁹⁹ É comum também o esforço estatal em reunir pequenas empresas e investidores e, na falta destes, o próprio governo tornar-se o investidor de última instância.²⁰⁰ Não raro julga-se que o desencontro é mais fundamental, entre empreendedor e inventor e a solução é transformar este naquele, através de programas de capacitação para candidatos a empreendedores, como se faz, por exemplo, no Brasil e EUA.²⁰¹ Já em linha com o segundo diagnóstico, na Índia, pelo menos até os anos 1980, aparentemente elegeu-se como problema a desigualdade na competição com as grandes e buscou-se remediá-lo concedendo benefícios fiscais, crédito subsidiado, regras trabalhistas mais flexíveis, preferências nas compras governamentais e até reserva de mercado para produtos específicos para empresas menores.²⁰² Já o congresso estadunidense entendeu que a dificuldade das pequenas firmas seria a demanda inicial, especialmente para produtos e serviços inovadores, e criou em

¹⁹⁷ (SWEEZY, 1943).

¹⁹⁸ Entendido aqui como o *entrepreneur*, indivíduo com especiais poderes de visão e liderança em Schumpeter Mark I.

¹⁹⁹ (MAIO, 2009)

²⁰⁰ (KELLER, 2011)

²⁰¹ Por exemplo, SEBRAE e SBO (*Small Business Office*) respectivamente.

²⁰² (KOCHHAR et al., 2006).

1982 um programa para contratar projetos e conceder *grants* exclusivamente para empresas de pequeno porte.²⁰³

2.3.5 *Entre Laços e Nós*

Os modelos imaginados até agora colocaram como agente da inovação primeiramente o mercado, em seguida o setor industrial, depois a grande empresa e por último a pequena. Agora vamos considerar que a inovação não provém de um setor ou tipo de empresa específico, mas da interação entre empresas e entre estas e instituições e consumidores. O agente da inovação torna-se novamente difuso, mas não tanto quanto o mercado amorfo que tudo calcula e provê dos primeiros modelos. Empresas de tamanhos variados estabelecem densos laços de fornecimento e cooperação entre si e com instituições de ensino e pesquisa e também com o Estado que estabelece políticas, formando estruturas particulares que chamaremos genericamente de rede e que é o **agente** da mudança técnica neste modelo. Já o **mecanismo** de produção de mudança técnica é justamente a interação entre os elementos da rede ao realizarem as **atividades** que lhe são próprias como pesquisa, produção, marketing, pós-venda, etc.

Assim como o agente, o **mecanismo** que faz surgir a inovação não nega os mecanismos dos modelos anteriores, apenas é mais complexo e os inclui. Importação de bens de capital e tecnologia, P&D em Instituições de Ensino, bem como em grandes e pequenas empresas, são exemplos de atividades coordenadas realizadas nos diversos elementos da rede que causam a mudança técnica. Agindo deliberadamente para alcançar a Inglaterra no começo do século XIX, a Prússia incentivou a importação de tecnologia e técnicos da própria Inglaterra, que tentou sem sucesso barrar a exportação de máquinas-ferramenta. Para treinar operadores para as máquinas importadas e produzir equivalentes domésticos via engenharia reversa, foram criados institutos técnicos cuja qualidade e abrangência explicariam a superioridade da mão de obra técnica alemã até os dias de hoje. A inter-relação

²⁰³ O *Small Business Innovative Research*, que vem sendo continuamente renovado e permanece em vigor (SBA, 2014).

entre instituições de ensino e pesquisa e as grandes firmas industriais, e entre as próprias firmas, permitiram à Alemanha não só alcançar a fronteira tecnológica, produzindo domesticamente já em 1850 os bens de capital necessários à produção de locomotivas, como ir além fazendo avançar as novas fronteiras tecnológicas do início do século XX: as indústrias química e elétrica.²⁰⁴

As análises que agrupamos neste modelo que chamamos de rede normalmente são classificadas de acordo com seu escopo: Sistemas Nacionais de Inovação, Sistemas Regionais de Inovação,²⁰⁵ Sistemas Setoriais de Inovação, Redes de Inovação e Cadeias Globais de Valor, conforme o critério escolhido para delimitar a rede relevante. O **diagnóstico** para a dificuldade de inovar será a debilidade relativa de um ou mais elementos essenciais à rede e / ou fraca interação entre eles. Assim, nos anos 1970 o fracasso tecnológico da extinta União Soviética na maioria dos setores industriais, apesar do elevado investimento em P&D estatal e educação técnica, se justifica pelo baixo investimento corporativo em P&D e pouca interação entre empresas e instituições de P&D estatais, entre desenvolvimento tecnológico e importação de tecnologia, entre as empresas, seus fornecedores e clientes e contrapartes via concorrência internacional. Já o Brasil dos anos 1980 cometeu mais ou menos os mesmos pecados e ainda investiu pouco em P&D e educação, não importou nem produziu significativamente em setores de rápido crescimento na época, como eletrônica de consumo e telecomunicações.²⁰⁶

Se os elementos principais estão presentes - empresas e instituições investindo adequadamente em P&D e educação - o possível diagnóstico se restringe a falhas de interação entre eles. Se a troca de conhecimento tácito for importante, a concentração geográfica é fator determinante para que uma região protagonize mudanças técnicas, como os distritos industriais italianos no século passado e os

²⁰⁴ (FREEMAN, 1995). (ROSENBERG, 2006, p. 43).

²⁰⁵ Sistemas de Inovação são tratados por Laranja, Uyarra e Flanagan (2008) no *rationale* denominado “abordagem institucional-sistêmica”.

²⁰⁶ Freeman (1995) narra o processo de atualização e posterior superação tecnológica da Alemanha em relação à Inglaterra tendo como pano de fundo as ideias de List (1841) a quem atribui pioneirismo no estudo de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), embora esta denominação só surgisse no final do século seguinte. No mesmo texto traça comparações entre os SNI soviético X japonês e brasileiro X coreano.

britânicos do século retrasado, onde os segredos industriais estavam no ar,²⁰⁷ ou do Vale do Silício na Califórnia ou ainda região de Albuquerque no Novo México. Se o conhecimento pode ser codificado ou os meios de comunicação e viagens frequentes amenizam a importância da proximidade geográfica, países periféricos podem almejar que a participação de sua indústria nas cadeias globais de manufatura, via filiais de multinacionais ou subfornecedores domésticos, traga não só empregos e linhas de produção obsoletas, mas também um quinhão dos investimentos em P&D das matrizes e das inovações geradas. Próximas ou não, isolamento e oportunismo seriam as falhas de rede que levariam ao fracasso inovativo, ao passo que a eficiência ou preferência pelo investimento no país de origem em geral frustra as expectativas das nações que se incorporam aos elos mais fracos das cadeias produtivas globais. O polo de alta tecnologia que não surgiu em torno do Instituto Politécnico Rensselaer em Troy, NY e a fracassada aliança entre Fiat e General Motors seriam exemplos de falhas de rede, enquanto a falência da Daewoo Motors e a irrelevância do laboratório da General Electric na Índia seriam demonstrações de que a origem da empresa realmente importa quando o assunto é inovação.²⁰⁸

Para cada diagnóstico haverá um instrumento de política tecnológica associado. O entendimento de que o problema é a transmissão de conhecimento tácito ou falta de interação entre academia e indústria indica a criação de polos tecnológicos ao redor de institutos de pesquisa e universidades, como o Vale do Silício e sua *Stanford University* ou Albuquerque e seu *Sandia Labs*. Para a falta de mão de obra qualificada prescreve-se investimento em educação técnica, para pouca inserção em cadeias globais de valor, redução de barreiras à importação e exportação de produtos intermediários, para o fraco encadeamento doméstico das filiais de multinacionais, regras de conteúdo local.

²⁰⁷ Certamente pela centralidade da dimensão geográfica no artigo de Laranja, Uyarra e Flanagan (2008), estes constituem um *rationale* independente denominado “abordagem neo-marshalliana”.

²⁰⁸ (FREEMAN, 1995), (WHITFORD; SCHRANK, 2011), (XIRINACHS-SALAZAR; NÜBLER; KOZUL-WRIGHT, 2014) e (AMSDEN, 2009).

2.3.6 De Frente para a Aventura

Tratamos aqui dos modelos que descrevem a mudança técnica como um processo evolutivo, trilhando a senda aberta por Nelson & Winter.²⁰⁹ Da mesma forma que o modelo que denominamos Rede não negava seus predecessores, o modelo Evolucionário incorpora muitas características do modelo anterior, em particular da perspectiva dos Sistemas de Inovação. Também entende que o papel de **agente** da inovação é compartilhado pelos diversos atores do sistema econômico. Novamente a distinção é uma questão de ênfase em algumas características importantes para o modelo Evolucionário, mas que de forma alguma são estranhas aos modelos anteriores e posteriores.²¹⁰

Reconhecendo a importância do componente tácito do conhecimento tecnológico que descarta seu tratamento como mera informação, o modelo evolucionário, ciente da relevância das propriedades de *path-dependence* e *lock-in* da mudança técnica, foca nas capacidades cognitivas dos elementos do sistema – e em sua evolução – como a chave para explorar trajetórias tecnológicas promissoras e para escapar de becos sem saída. Não se trata mais somente da interação entre os elementos da rede (firmas, universidades, agências, instituições) forjando a mudança técnica, mas também *vice-versa*, isto é, da coevolução entre conhecimento técnico e a rede de entidades envolvidas.²¹¹

Marcante também na visão Evolucionária é a recusa à noção de equilíbrio ou estado estacionário tão cara ao *mainstream*. Não considera a estabilidade, nem de nível, nem de taxa de variação, como padrão para o comportamento das variáveis econômicas. Refuta também comportamentos otimizadores: além das coisas estarem sempre mudando e da incerteza radical envolvida, conhecimento e tempo disponíveis para tomada de decisão são limitados. Agentes optam pela primeira oportunidade “satisfatória” ao invés de procurar indefinidamente maximizar

²⁰⁹ (NELSON; WINTER, 1977), (NELSON; WINTER, 1982).

²¹⁰ Por exemplo, segundo Moreau (2004) aparentemente toda Política que não for Neoclássica é Evolucionária.

²¹¹ Por esta capacidade de modificar a estrutura produtiva, além da importância da diversidade na mudança cognitiva e inovação, têm razão Laranja, Uyarra e Flanagan (2008) em agrupar nossos dois modelos no *rationale* denominado “abordagem evolucionário-estruturalista”, mas por suas outras características descritas em seção anterior e consequências distintas em termos de política, julgamos o estruturalismo merecedor de um modelo próprio.

seu retorno. E o fazem seguindo critérios e rotinas pré-estabelecidas, mas que vão sendo adaptadas em função dos resultados, por tentativa e erro.²¹² Para o bem e para o mal, a vida econômica é uma aventura.²¹³

O modelo evolucionário abrange melhor a complexidade do processo de Mudança Técnica e do conceito de inovação esboçado no primeiro capítulo e, talvez por isso mesmo, apresenta dificuldades em fornecer indicações específicas de políticas públicas, tanto que escritos seminais desembocam em recomendações muito genéricas como: promover o aprendizado, melhorar capacitações, incorporar sistematicamente conhecimento e adaptar-se às circunstâncias.²¹⁴ Ainda por cima, estando suas decisões sujeitas às mesmas dificuldades que as dos agentes privados (incerteza, conhecimento, tempo), o governo age da mesma forma, seguindo rotinas e critérios pré-estabelecidos e sabe, ou deveria saber, que ainda assim os resultados de suas ações são, o mais das vezes, irreversíveis e imprevisíveis. Então haveria casos nos quais, por consequência, a abordagem Evolucionista poderia ser até mais refratária à intervenção econômica que a Neoclássica.²¹⁵

Apesar de tudo, prevalece a crença entre economistas evolucionistas que implicações políticas mais fortes, ou ao menos diferentes e de natureza intervencionista, poderiam ser derivadas de seu ofício. Faz muito sentido, pelo menos no que tange a políticas de incentivo à inovação, já que esta deveria ser a preocupação central do formulador de políticas evolucionista, e flexibilidade, diversidade e adaptabilidade são naturalmente mais apreciadas em um mundo que não possui nenhum ponto ótimo à vista, como supõe a teoria *mainstream*.²¹⁶ O que não ajuda, entretanto, a escapar das recomendações genéricas dos pioneiros. Por exemplo, uma contribuição mais recente lista explicitamente um punhado de funções para o Estado e diretrizes normativas para Política Industrial definidos segundo a

²¹² (MOREAU, 2004). “Satisfatória” é tradução própria para *satisficing*.

²¹³ Tradução própria de “*For better or worse, economic life is an adventure*” (NELSON; WINTER, 1982, p. 370).

²¹⁴ Conforme Moreau (2004) citando explicitamente (NELSON; WINTER, 1982) e *Economics and Utopy* de G. M. Hodgson.

²¹⁵ (MOREAU, 2004, p. 869).

²¹⁶ (MOREAU, 2004, p. 852).

perspectiva Evolucionista, mas espremendo-as não conseguimos encontrar muito mais do que as recomendações originais.²¹⁷

Diante do exposto, nosso modelo Evolucionista terá a rede, ou sistema, como **agente** da inovação com cada entidade executando as **atividades** que lhes são próprias (P&D, produção, uso, etc.) exatamente como no modelo anterior (rede). Diferirá deste pelo **mecanismo**, que pode ser descrito como o aprendizado conjunto, ou a mudança cognitiva generalizada concomitante à mudança estrutural do sistema. **Diagnósticos** associados seriam dificuldades de aprendizado sistêmico, aprisionamentos em trajetórias tecnológicas menos promissoras ou incapacidade de mudanças cognitivas. As políticas decorrentes, pouco específicas como adiantado, seriam incentivos ao aprendizado, à diversidade e ao experimentalismo, bem como redundância de trajetórias para evitar situações de *lock-in* tecnológico.²¹⁸

Neste sentido o modelo evolucionário justificaria a aplicação de políticas de incentivo à inovação descentralizadas, permeando os vários níveis da administração, sobrepostas e redundantes, como as dos EUA depois de 1957 e mais ainda a partir dos anos 1980, em plena dominância da ideologia neoliberal.²¹⁹ Receita infalível, mas infelizmente ao alcance de poucos, como veremos adiante.

²¹⁷ As funções do Estado elencadas por Moreau (2004) são: a) Facilitador; b) Guia e c) Criativo. Já as diretrizes: i) Melhorar Coordenação entre agentes privados e entre estes e o Estado; ii) favorecer incrementalismo na formulação de políticas; iii) favorecer o experimentalismo moderado de agentes privados e públicos; iv) construir instituições que favoreçam as três diretrizes anteriores. O autor lança mão inclusive de modelos formais para ilustrar tais funções, mas que a nosso ver diferem pouco dos métodos neoclássicos ao supor para as duas primeiras funções que, embora não haja um ótimo único, há um objetivo claro a ser perseguido. Já a terceira função, em que pese o formalismo de teoria de conjuntos empregado, assim como as diretrizes, parecem as mesmas recomendações que o texto acusa de serem genéricas, apenas escritas de outra forma.

²¹⁸ (LARANJA; UYARRA; FLANAGAN, 2008, pp. 829-830).

²¹⁹ Ao narrar a evolução da rede de entidades promotoras da mudança técnica nos EUA, Block (2011) estabelece três pontos de inflexão: i) A segunda grande guerra fez surgir o Estado Científico com a criação de laboratórios nacionais como Los Alamos e a *National Science Foundation*; ii) 1957 trouxe maior descentralização com a criação da NASA e do DARPA e o relacionamentos destes com Bell Labs, Fairchild, Intel, IBM e Xerox. iii) Anos de 1980 viram a criação de mais agências e programas de incentivo à inovação para combater a relativa perda de competitividade da economia norte-americana. Ao contrário do que faria pensar a propaganda neoliberal, foi um período muito ativo em termos de políticas tecnológicas.

2.3.7 Falso Vilão

Construímos o presente modelo buscando refletir o pensamento de Economistas como Mariana Mazzucato, que embora fundamentado na teoria Evolucionista e incorporando ideias de modelo anterior (rede), foca no papel do Estado, através de instituições governamentais ou publicamente financiadas, como **agente** da mudança técnica. As **atividades** por meio das quais as inovações surgem são ciência e P&D, executadas por tais instituições. Neste modelo as firmas não se encarregam das etapas iniciais, mais caras, complexas e arriscadas do desenvolvimento de produtos e serviços inovadores, ainda menos as firmas pequenas que, apesar de uma minoria de *startups* em novas tecnologias, em geral são menos produtivas que as grandes empresas. Desta forma ao setor privado cabe papel secundário, envolvendo-se nas fases finais do desenvolvimento, se não meramente a aplicação, *marketing* e comercialização das inovações desenvolvidas pelo Estado.²²⁰

Mesmo economistas *mainstream* que não comungam dos dogmas de seus colegas fundamentalistas e admitem a existência de falhas de mercado unem-se ao coro destes para condenar qualquer intervenção do Estado nos mercados sob o argumento de que as falhas de governo como desinformação, incompetência e corrupção seriam mais numerosas e graves que as que buscariam corrigir.²²¹ Os defensores do papel do Estado rebatem explicando que o debate não é este. Quando o assunto é mudança técnica, não se trata de consertar mercados, mas criar alguns que não existem e não existirão sem intervenção do Estado. Reverberando as palavras de Keynes, afirmam que o papel mais importante do Estado é fazer o que ninguém na esfera privada faz, não fazer o que estes já fazem um pouco melhor ou um pouco pior.²²²

²²⁰ A suposição de que pequenas empresas seriam o motor do crescimento e inovação como em nosso modelo Mark I seria o segundo mito desmascarado por Mazzucato (2013) que argumenta que em geral cabe ao Estado o papel de empreendedor e inovador.

²²¹ Que aliadas à cooptação do governo por interesses privados, tornariam as falhas de governo mais prováveis que as de mercado (XIRINACHS-SALAZAR; NÜBLER; KOZUL-WRIGHT, 2014, p. 13).

²²² *The most important Agenda of the State relate not to those activities which private individuals are already fulfilling, but to those functions which fall outside the sphere of the individual, to those decisions which are*

A arquitetura geral deste modelo é parecida com a do modelo de rede, sobretudo com a perspectiva dos Sistemas Nacionais de Inovação. As mesmas entidades - universidades, institutos de pesquisa, laboratórios, instituições financeiras, empresas grandes e pequenas – interagem entre si para que haja consistentemente inovações. A diferença é que o **mecanismo** essencial para surgimento da mudança técnica poderia ser considerado semelhante ao do modelo linear:²²³ a pesquisa básica e aplicada realizada em instituições públicas constitui o alicerce sobre o qual as empresas privadas constroem seus produtos e serviços inovadores. Além de suportar os custos e riscos mais importantes por encarregar-se das primeiras etapas, o Estado, de forma mais abrangente que nos modelos anteriores, apoia as entidades privadas em todo o resto que faltar, criando demanda e mercados, coordenando esforços, provendo capital de risco paciente.²²⁴

Decorre sem muito esforço que para que o Estado tenha papel tão importante e ubíquo em uma sociedade capitalista, pelo menos dois requisitos são necessários: dinheiro público abundante e constante e servidores públicos capazes e motivados. O dinheiro destinando a promover a mudança técnica deve ser suficiente para financiar as instituições públicas e privadas de pesquisa, a demanda do governo por inovações, além de incentivos à produção e ao consumo e o próprio investimento de risco. Para estabelecer metas, criar programas, coordenar atividades, cobrar resultados e corrigir rumos, sem ser cooptada por interesses particulares, o Estado deve dispor de uma burocracia especializada, competente e motivada. A ausência de um ou dos dois são sintomas associados a **diagnóstico** comum: a predominância da ideologia econômica *mainstream* que atribui toda inovação e crescimento à esfera privada, e ao governo o papel de estorvo a ser evitado. A asfixia fiscal por um lado e o bombardeio crítico por outro rebaixam as

made by no one if the State does not make them. The important thing for government is not to do things which individuals are doing already, and to do them a little better or a little worse; but to do those things which at present are not done at all (KEYNES, 1926) *apud* (MAZZUCATO, 2013).

²²³ Semelhante no sentido que como defende List (1841), a sequência através da qual a inovação ocorre seria pesquisa básica -> pesquisa aplicada -> Desenvolvimento -> Produção. Ainda que reconheça retroalimentações no sentido inverso, supor que sejam mais importantes as etapas iniciais, justamente as que não são adequadamente desempenhadas pelo mercado, leva logicamente ao protagonismo estatal no processo de mudança técnica.

²²⁴ A noção de que o *Venture Capital* privado é paciente e afeito ao risco seria o terceiro mito desmascarado por Mazzucato (2013).

possibilidades de financiamento ao aparato inovativo estatal e o moral do funcionalismo incumbido de gerenciá-lo, golpeando a uma só vez as duas condições necessárias ao florescimento da mudança técnica por este modelo.

Por este prisma, as políticas prescritas pelo modelo estão em nível mais elevado que as anteriores, diferença mais facilmente expressa em inglês: *politics* ao invés de *policies*. Há uma batalha discursiva a ser vencida: contra as ideias neoclássicas cuja capacidade de convencer que são as firmas que inovam, e por isto merecem polpudos lucros, depende de obscurecer o entendimento do processo inovativo, é preciso iluminar as reais origens das inovações que revolucionaram economia e sociedade. Devemos a Internet, os semicondutores, computadores, discos rígidos, telas sensíveis ao toque, navegação por satélite, entre outras maravilhas, muito mais aos taciturnos militares e burocratas e ao dinheiro dos impostos do que aos charmosos empresários e ao *venture capital* da era digital que saem da garagem de casa para impérios multibilionários em poucos anos. Revertida a sorte nesta batalha que há tempos pende para redução do papel do Estado, tornar-se-ia socialmente aceitável aumentar a carga fiscal sobre as empresas que se beneficiam enormemente das novas tecnologias criadas pelo Estado e assim manter sua capacidade de promover a mudança técnica, bem como atrair e reter talentos no serviço público para coordenar os esforços inovativos.

2.3.8 Comparando

A tabela a seguir apresenta ainda mais sumariamente as características dos modelos apresentados, listando seus atributos:

- Teoria: Corrente de Teoria Econômica cujos princípios embasam o modelo, que pode ser simplesmente *mainstream* ou heterodoxa.
- Agente: estritamente falando, o agente do processo inovativo seria sempre a instituição de pesquisa ou a firma onde a Mudança Técnica surge. Porém, na tabela a seguir, daremos ênfase ao tratamento dado por cada modelo a esta questão. Assim, se a inovação surge em firmas sem diferenciação, diremos que o agente é o Mercado. Se nasce principalmente em firmas industriais, diremos que o agente é este setor. Se brota mais na firma grande que na pequena, diremos que o agente é a grande empresa, e *vice-versa*. Se o modelo ressalta o papel das instituições públicas de pesquisas, diremos que o

agente é o Estado, mas, se salienta a interconexão entre elas, as firmas, universidades e outras entidades, diremos que o agente é a rede.

- Mecanismo: explicação econômica para o surgimento da Mudança Técnica.
- Diagnóstico: suposta falha no funcionamento do mecanismo que o impede de funcionar adequadamente.
- Política: exemplos de políticas que poderiam ser justificadas pelo modelo correspondente. Obviamente não pretendemos afirmar que tenham sido efetivamente justificadas desta forma por formuladores de políticas, nem sequer em contribuições acadêmicas sobre política tecnológica. Simplesmente que o exemplo de política encontrado na prática é coerente com a lógica do modelo delineada no texto. Cada linha da tabela indica somente os instrumentos adicionais que poderiam ser sancionados, evitando repetir outros carregados de modelos anteriores. Por exemplo, instrumentos do modelo de falha de mercado, como incentivo a pesquisa básica e educação, são válidos para todos os modelos subsequentes e por isso não repetidos. Da mesma forma não é mencionado, mas o modelo evolucionário encampa os instrumentos da rede, e o modelo estatal, engloba estes dois.

Nunca é demais ressaltar que, além de não exaustiva, a classificação não é composta de categorias estanques, ao contrário, a menos do Neoclássico,²²⁵ as classes se entrelaçam e sobrepõem e os atributos especificados devem ser vistos, não como forma de separação, mas como aspectos cuja iluminação guia a passagem de uma categoria à outra. Até porque uma mesma realidade objetiva, como o conjunto de entidades e esforços de um determinado país para incrementar a Mudança Técnica, poderia ser representada por vários destes modelos, quando não por todos.

²²⁵ Vale ressaltar que há na literatura visões pelas quais até o mesmo o modelo neoclássico de falhas de mercado poderia ser visto como um caso particular do Evolucionário, como defendem Bleda e Del Río (2013).

Modelo		Teoria	Agente	Mecanismo	Diagnóstico	Política
1. Neoclássico	Básico	Mainstream	-	-	-	-
	Mercado inovador	Mainstream	Mercado		Excesso de Interferência	Desregulamentação
	Falhas de Mercado	Mainstream	Mercado		Custo de exclusão médio	Direitos de Propriedade Intelectual
					Custo de exclusão alto	Ciência Básica em Instituição Pública
					Custo de incerteza médio	Incentivo Fiscal e financeiro
					Custo de incerteza Alto	Ciência Básica em Instituição Pública
2. Estruturalista	Cepal	Alternativa	Setor Industrial	Transferência de tecnologia e Bens de Capital	Lacuna cadeia produtiva / divisas	Proteção comercial, Produção Estatal
	GIF	Mainstream			Distância da fronteira	Identificação e Facilitação
	Chang/Reinert	Alternativa			Competição e IPR globais	Modulação de Proteção e IPR
	3. Schumpeter Mark II				Alternativa	Grande Empresa
4. Schumpeter Mark I		Mainstream / Alternativa	Entrepreneur / Pequena Empresa	Genialidade individual	Desencontro Capital X Empreendedor X Inventor, competição com grandes	Incubação, Incentivo Fiscal, Demanda e Crédito à P.E., Venture Capital Público, formação de empreendedor
5. Rede		Alternativa	Rede	Interação	Falta / falha de nós	Incentivo a: Educação, Centros de pesquisa, Clusters tecnológicos, filiais de ETNs, Abertura comercial, conteúdo local
					Falha de rede	
6. Evolucionário		Alternativa	Rede	Evolução Estrutural Cognitiva	Lock-in, dificuldade de mudança cognitiva	Incentivos ao aprendizado, à diversidade, ao experimentalismo, à redundância de iniciativas
7. Estatal		Alternativa	Estado	Rotina de Ciência e P&D	Ideologia mainstream desmoraliza burocracia e asfixia o Estado	Demonstrar papel do Estado Taxar adequadamente empresas que lucram com inovações

Tabela 3 - Comparação entre modelos de mudança técnica

2.4 Não é igual, mas dá na mesma

Quem tem o martelo como único instrumento,
trata todos os problemas como pregos.²²⁶

Os modelos para surgimento e aproveitamento econômico da mudança técnica da seção anterior são construções abstratas que buscam isolar ideias, diagnósticos e instrumentos de políticas tecnológicas que na realidade manifestam-se mesclados e sobrepostos, ainda assim, a separação artificial em sete modelos com diferentes agentes e diagnósticos desembocam em um conjunto de políticas que poderia ser reduzido a variações na dose e duração de um punhado de instrumentos, como provimento de educação, pesquisa básica e infraestrutura, proteção comercial, regras de propriedade industrial, incentivos fiscais e creditícios e investimento direto, quase que independentemente da teoria econômica que embasou o modelo.

2.4.1 *Lei de Say da mudança técnica*

O principal pecado dos modelos de mudança técnica visitados e políticas tecnológicas deles decorrentes é que parecem supor algo como uma “lei de Say para o processo inovativo”. A “lei” original²²⁷ que, desconsiderando a complexa dinâmica econômica que determina a demanda efetiva em função dos espíritos animais, preferência pela liquidez e cálculos capitalistas em meio a incertezas radicais,²²⁸ preconiza que toda a oferta gera sua própria demanda e induz a um modelo teórico que pode até ser ideologicamente conveniente, mas é simplesmente incompatível com as crises ou ciclos econômicos que insistem em ocorrer. Já nossa paródia preconiza que o investimento em pesquisa básica e educação ou o incentivo para que firmas do “tamanho certo” prosperem, ou o esforço para fabricar localmente

²²⁶ Muitas vezes atribuída a Mark Twain, mas de autoria incerta e redações variadas, foi publicada provavelmente pela primeira vez em jornal inglês do século XVII (KEYES, 2006).

²²⁷ A ideia, bem aceita pelo pensamento econômico ortodoxo, passou à posteridade como lei de Say por ter sido defendida pelo economista francês Jean Baptiste Say (1855).

²²⁸ Provavelmente a crítica mais contundente à “Lei de Say” é a feita por Keynes (1937).

e/ou em firmas domésticas, ou ainda para reunir inventores e investidores, conforme o modelo preferido, não são condições suficientes para o surgimento de mudança técnica economicamente proveitosa. Não que neguemos que sejam condições necessárias, como oferta é condição necessária para que qualquer demanda possa se realizar, mas apontamos que também ignoram o cerne da questão, isto é, o complexo e incerto mecanismo pelo qual surge a inovação.

Quando tudo vai bem, a fé nas “leis de Say” é redobrada. Assim como durante a prosperidade ocidental do pós-guerra parecia que tudo que se produzisse seria consumido, o *boom* de informática e telecomunicações dos anos 1990 poderia levar à ilusão de que a replicação das políticas tecnológicas empregadas nos EUA naquela década e na anterior seriam garantia de sucesso inovativo em qualquer lugar. Abramos um parêntese e olhemos alguns instantes para o Norte.

2.4.2 O que é bom para os americanos... ou de volta à roleta de Lord Keynes

Com efeito, se queremos narrar a realidade concreta das mudanças técnicas e políticas tecnológicas, o que se passa nos EUA é tema praticamente inescapável. A nação indiscutivelmente mais inovadora de nosso tempo, embora submersa desde os anos 1980 na retórica do livre mercado, exhibe impressionante emaranhando de instituições que incentivam inovação:

- Ministérios - de Agricultura (USDA), Defesa (DoD) e Energia (Doe), segurança (DHS);
- Agências - para projetos de defesa avançados (DARPA), para aeronáutica e espaço (NASA), pesquisas médicas (NIH), ciências (NSF), inteligência (CIA), energia atômica (AEC), meio ambiente (EPA);
- Laboratórios federais – como Los Alamos (energia atômica), JPL (propulsão a jato), Sandia (energias renováveis), Lawrence (física);
- Leis específicas²²⁹ - como *Bayh-Dole* sobre patentes de pesquisas públicas, *Stevenson-Wydler* sobre transferência de tecnologia para o setor privado, *orphan drug* para incentivar novos tratamentos de doenças raras;
- Programas²³⁰ – SBBR que concede *grants* a pequenas empresas, CRADA que estabelece parcerias entre laboratórios federais e empresas privadas, ATP para tornar comerciais novas tecnologias; e até

²²⁹ Muitas das quais criadas nos anos 1980, enquanto a retórica liberal dominava as atenções políticas (VALLAS; KLEINMAN; BISCOTTI, 2011).

- Empresas de investimento²³¹ – como In-Q-tel, OnPoint, Rosettex, firmas de *venture capital* criadas pelo Estado para investir em empresas iniciantes de tecnologia;

esta sopa de letrinhas é tão vasta, intrincada e dinâmica, que se torna praticamente intratável analiticamente.²³² Mais do que o volume de recursos empregado, compatível com o gigantismo da economia, chama a atenção a descentralização e redundância das iniciativas e o fato de que a participação estatal na produção de inovação, sempre significativa, vem crescendo ao longo do tempo.²³³

A redundância pode ser atribuída à cumulatividade do processo histórico de construção das políticas que, como mencionamos, em geral não se substituem, mas se sobrepõem umas às outras, bem como ao pragmatismo de abrir muitas portas, de forma a aumentar as chances que uma inovação – de difícil avaliação como devem ser as mais radicais – possa se qualificar para o apoio estatal,²³⁴ corroborando assim a conclusão do primeiro capítulo: ainda que a redundância de iniciativas implique em ineficiência e, teoricamente, desperdício de dinheiro, não há outra forma de lidar com as incertezas inerentes ao processo inovativo.

Já a descentralização, em parte creditada à peculiaridade da organização política estadunidense²³⁵, teria duas vantagens. A primeira, circunstancial, associada à dificuldade de justificar financiamento público para pesquisas, que não as básicas ou militares, em épocas dominadas pelo fundamentalismo de mercado. Iniciativas menores e dispersas atrairiam menos ataques.²³⁶ A segunda, mais interessante, seria a superioridade do arranjo descentralizado para quem pretende estar na vanguarda tecnológica. Enquanto a centralização dos esforços inovativos, estatal ou em conglomerados privados, pode ser adequada para seguir os passos dos líderes, uma rede de entidades sem hierarquia estrita, capaz de se reconfigurar

²³⁰ Negoita (2011) apresenta interessante revisão, focada no *Advanceded technology Program* (ATP).

²³¹ Interessante análise das iniciativas públicas de *venture capital* nos EUA, principalmente sobre a pioneira In-Q-Tel, fundada pela CIA, é feita por Keller (2011).

²³² Na introdução da primeira parte e em outros pontos, Block e Keller (2011a) argumentam que é virtualmente impossível mapear analiticamente todas estas iniciativas, não pela falta de transparência, mas por sua vastidão e contínua transformação.

²³³ Esta é uma das conclusões de Block e Keller (2011b) com base em dados empíricos de 1970 até 2006.

²³⁴ (BLOCK, 2011, p. 15).

²³⁵ Por exemplo, a relativa autonomia dos entes federativos permite que Estados implementem políticas industriais (KELLER, 2011).

²³⁶ Embora não seja a estratégia defendida para a política tecnológica, Negoita (2011) identifica a visibilidade do programa como importante problema que colaborou para inviabilizar o ATP.

dinamicamente, incluindo participantes e modificando laços, atenderia aos propósitos de quem quer liderar e, portanto, não tem a quem seguir. Desta forma, múltiplas trajetórias tecnológicas podem ser perseguidas simultaneamente, o que é prudente já que várias delas se revelarão becos sem saída.²³⁷

Não dá para discordar do argumento sobre a importância da cooperação entre agentes para mudança técnica – o próprio conceito delineado no primeiro capítulo a estabelece como fenômeno essencialmente social. Mas resistimos à ideia de que o impulso ao aumento do inter-relacionamento entre pessoas envolvidas no esforço inovativo tenha sido determinante para a reconfiguração econômica e institucional dos EUA em direção a um Estado Desenvolvimentista em Rede,²³⁸ ou que esta articulação seja intrinsecamente superior, no que tange à inovação, a outras mais hierárquicas.

Não negamos que a transformação tenha ocorrido: em 1971, quase 40% das inovações bem-sucedidas foram fruto do esforço de uma grande empresa isoladamente, já em 2006 esta fatia não passou de 2%, abrindo espaço que foi ocupado por pequenas empresas, normalmente associadas entre si e em cooperação com instituições de pesquisa.²³⁹ Argumentamos, porém, que esta mudança não se deu por ação coordenada do Estado, nem sequer por consenso tácito entre os formuladores de políticas públicas sobre a superioridade de um sistema nacional de inovação descentralizado e interconectado para o capitalismo pós-industrial,²⁴⁰ mas principalmente por causa de atributos específicos da fronteira tecnológica atual,²⁴¹ e secundariamente pela “seleção natural” exercida pela crítica *mainstream* que vitima mais facilmente grandes programas centralizados e

²³⁷ (CIMOLI; DOSI; STIGLITZ, 2009, p. 28), e em linha com o que foi argumentado na seção sobre o modelo evolucionário.

²³⁸ Tradução própria de DNS (*Developmental Network State*) (RIAIN, 2011).

²³⁹ Confiando nas listas *R&D 100 Award Winners* e *Fortune 500*, usadas por Block e Keller (2011b) como *proxies* para classificação de inovações bem sucedidas e grandes empresas, respectivamente.

²⁴⁰ A sociedade pós-industrial ou economia do conhecimento seria aquela cujo sucesso econômico é baseado na efetiva utilização de ativos intangíveis como conhecimento, habilidades, e potencial inovativo (BRINKLEY, 2009).

²⁴¹ Divergimos neste ponto de Mowery (2009), para quem os desenvolvimentos recentes em Tecnologia da Informação e Biotecnologia foram mais influenciados pelas políticas públicas do que por aspectos tecnológicos.

cooperação com grandes empresas, facilmente rotuladas de iniciativas de “bem-estar empresarial”.²⁴²

Durante a segunda revolução industrial, a grande empresa, além de ser o *locus* ideal para a valorização do capital, graças a seus ganhos de escala e escopo,²⁴³ foi também o ambiente fértil para mudança técnica porque o avanço das fronteiras tecnológicas, metalomecânica, química e elétrica, dependia de grande concentração de capital físico e recursos humanos para construção de protótipos e experimentação, usando muitas vezes a linha de produção como laboratório.²⁴⁴ A situação começa a mudar quando a manufatura eletrônica se torna o setor dinâmico da economia: naturalmente modular por usar componentes com funções específicas, cada um deles completamente definido por meia dúzia de parâmetros numéricos,²⁴⁵ permite facilmente a codificação da interface e a separação entre desenvolvimento, projeto e prototipação, de um lado, logística e fabricação de outro.

Com a progressiva digitalização dos circuitos eletrônicos, o mapeamento entre *design* abstrato e produto concreto torna-se inerentemente formal e explícito. O projeto nada mais é que um diagrama de encadeamento de operadores lógicos que se traduz diretamente na interconexão física entre circuitos integrados que constitui o aparelho fabricado.²⁴⁶ O degrau seguinte, o processador, pode ser entendido como

²⁴² Block (2008) relata que instituições como o partido Republicano e *Cato Institute* frequentemente acusam políticas de incentivo à inovação de promover *Corporate welfare*, em óbvia referência crítica ao *social welfare state*.

²⁴³ (CHANDLER, 1994).

²⁴⁴ O paradigma produtivo de bens de consumo de massa e ganhos de escalas crescentes fazia com que qualquer novo produto, naturalmente fosse pensado juntamente com seu processo de produção. Assim, fabricação de protótipos, mecânicos e elétricos, ou mesmo construção de fábricas piloto, químicas e metalúrgicas, são etapas indispensáveis e custosas, mais acessíveis a grandes empresas do ramo. Também a própria linha de produção pode servir de laboratório, aliás, a importância deste recurso associado à maior participação do chão de fábrica nas decisões estaria na raiz da superioridade da indústria automobilística japonesa (TUNZELMANN, 1995).

²⁴⁵ Componentes eletrônicos passivos são especificados normalmente por um único parâmetro principal, o valor da resistência, capacitância ou indutância, para resistores, capacitores e indutores, respectivamente. Parâmetros secundários, como potência máxima, faixas de temperatura e frequência, também são grandezas escalares completamente definidos por valores numéricos. Já componentes ativos, como transistores e circuitos integrados, apresentam comportamento complexo e dinâmico, necessitando de extensos *data-sheets* e *time-tables* para sua completa descrição. Ainda assim, para fins de projeto, toda informação necessária encontra-se perfeitamente codificada nestes documentos, enquanto que para aquisição de componentes e fabricação dos aparelhos projetados, apenas a identificação do código do componente, *part-number*, é suficiente.

²⁴⁶ Diferentemente dos circuitos analógicos, os sinais em um circuito digital assumem somente dois estados, convencionalmente chamados de zero e um. As funções desejadas são concebidas como operações de lógica booleana, executadas fisicamente por portas lógicas. Várias portas lógicas são normalmente encapsuladas em

um circuito digital de uso geral, que no lugar de executar operações lógicas de acordo com um encadeamento fixo, as executa segundo uma sequência de instruções. A interface de interesse passa a ser o próprio *software*, estritamente codificada em uma linguagem de programação com sintaxe muito bem definida.

Cresce assim como atividade inovadora, que agrega valor econômico, o desenvolvimento de *software*, como é evidenciada na diferença de preço relativo entre programas de uso profissional e os computadores necessários para rodá-los, bem como pela pujança de empresas como Microsoft, SAP e Oracle frente aos percalços de outras como Compaq, IBM e Dell. Mesmo o sucesso de fabricantes de *hardware* como Cisco e Apple está ligado aos *softwares* por eles desenvolvidos e que funcionam exclusivamente em suas plataformas proprietárias.

Se a indústria dinâmica é a de *software*, a interface entre *design* e produto é tão completamente codificada que a fabricação em massa, isto é, a cópia ou replicação do programa, é executada pelas próprias máquinas a um custo marginal desprezível. Desenvolvimentos posteriores rebaixaram ainda mais o *hardware* em direção à “comoditização”. Tendo a internet e mobilidade como imperativos, camadas padronizadas de sistemas operacionais, serviços e máquinas virtuais elevaram o desenvolvimento de aplicativos a altitudes abstratas cada vez mais independentes do *hardware* específico onde serão utilizados. Agora, *design* e produto se confundem. Não é mais possível separar desenvolvimento de produção, que seria simplesmente o *deployment* do aplicativo na nuvem, onde já foi desenvolvido e testado.

Assim progressivamente a grande empresa deixou de ser indispensável para se avançar em fronteira técnica muito vistosa nestes dias. Pelo contrário, como computadores e conexão à internet são perfeitamente acessíveis a empresas iniciantes e o grosso do investimento necessário à inovação não é mais em capital físico, mas em tempo de trabalho dispendido, este tende a ser mais facilmente suportado por grupos de especialistas associados em uma pequena empresa que aportam o próprio trabalho esperando participar de vultosos lucros futuros. Uma

um circuito integrado. Por ser grandeza binária ao invés de racional, o sinal digital está muito menos sujeito a flutuações térmicas e interferências, de forma que o comportamento do circuito físico é em geral exatamente igual ao imaginado, diminuindo a necessidade de protótipos e provas de conceito.

grande empresa para trilhar rota tecnológica semelhante teria que adiantar o total de salários, elevados por conta da especialidade da equipe, sem a garantia de dedicação que uma cota da sociedade costuma produzir.

Se a mudança técnica pôde prosperar prescindindo da grande corporação, tanto melhor.²⁴⁷ Em tempos de retórica política liberal, o apoio do Estado para que grandes empresas possam inovar é alvo fácil para críticas, como ocorreu nos anos 1990 quando este ajudou a financiar o desenvolvimento de peças em material composto, juntamente com consórcio das três grandes de Detroit, independentemente do sucesso alcançado e outros benefícios não antecipados.²⁴⁸ Já o suporte a pequenas e médias empresas parece ser mais tolerável, ainda que este tenha que pragmaticamente se estender à quase todas as fases do processo inovativo, da pesquisa básica à garantia de demanda, passando pela transferência de tecnologia e financiamento.

Em resumo, não espanta que os EUA sejam líderes em inovação: lá o Estado parece fomentar a mudança técnica de todas as formas e em todos os níveis e lugares que lhes vêm à cabeça. Se voltarmos à roleta do primeiro capítulo, agora como ilustração da imprecisão inerente à economia da inovação,²⁴⁹ para sermos justos teríamos que admitir que esta, ainda que imprevisível como as dos cassinos, paga a quem adivinhar o destino na bolinha, prêmio muito superior ao total apostado nos outros números, refletindo a hipótese de que uma mudança técnica bem-

²⁴⁷ Não que seja este o caso geral, nem que as grandes corporações tenham deixado de perceber as mudanças tecnológicas e delas tirado proveito. Hiratuka e Sarti (2015) notam que a intensificação da concorrência em nível global significou para as empresas líderes uma estrutura mais flexível e mais focada no domínio e controle sobre ativos intangíveis, como as capacitações tecnológicas, de forma a manter o comando sobre as cadeias de valor internacionais, reforçando barreiras à entrada nessa dimensão superior. Ao mesmo tempo, parte considerável das atividades produtivas mais commoditizadas foram segmentadas, externalizadas e transferidas para países em desenvolvimento

²⁴⁸ O apoio do ATP ao consórcio formado por Chrysler, Ford e General Motors foi duramente criticado, embora tenha alcançado resultados que melhorariam a competitividade da indústria automotiva americana, reduzindo peso, facilitando a montagem e melhorando a resistência à corrosão, além de dar origem a componentes estruturais aeronáuticos de aviões militares e até do moderno Boeing 787 *Dreamliner* (NEGOITA, 2011).

²⁴⁹ Se formos rigorosos, como no primeiro capítulo, a roleta não é uma boa metáfora para inovação porque nesta, diferentemente daquela, não é possível sequer listar os resultados possíveis.

sucedida gera retorno econômico e social suficiente para mais que compensar muitas tentativas fracassadas.²⁵⁰

Sabendo disto, um apostador milionário como os EUA racionalmente distribui sua pilha de fichas mais ou menos uniformemente por toda a mesa, sabendo que onde quer que a bolinha resolva parar, receberá mais do que apostou. Já para o trabalhador do primeiro capítulo, cujo salário compra apenas uma ficha, a mera visita ao cassino soaria como insanidade. Analogamente, a estratégia norte-americana, por mais bem-sucedida que seja, não serve de modelo para a maioria dos países, simplesmente porque não está acessível. Menos ainda pinçar um recorte aleatório e a-histórico para replicar. Investir em um vale do silício tropical, por exemplo, corresponderia a apostar o contracheque no “vermelho 27” só porque este resultado enriqueceu ainda mais o ganhador da última rodada, preferindo ignorar que ele também apostou – e perdeu – em todos os outros números.

2.4.3 Nem só de marteladas...

Simploriamente podemos dizer que Keynes mostrou que considerar somente a oferta não dá conta da realidade econômica tão complexa e incerta que, mesmo que não se possa quantificar exatamente seus efeitos, não se deve prescindir de ferramentas que afetem a demanda efetiva, como política fiscal expansionista, que podem ser usadas para atenuar crises econômicas. Pretensiosamente, da mesma forma afirmamos que as políticas tecnológicas elencadas até o momento, justamente por não cuidarem de alguns aspectos inerentes à complexidade do fenômeno da mudança técnica exposta no primeiro capítulo, não são garantia de que uma sociedade alcançará seus objetivos relativos à inovação.

Há outra ferramenta, que logicamente também não garante o sucesso, mas que poderia ser útil em casos particulares, quando se almeja alcançar ou ultrapassar alguma fronteira tecnológica, mas sem dispor dos vastos recursos e

²⁵⁰ Esta hipótese fica explícita no trabalho de Mazzucato e Penna (2015) quando sugerem que o Estado adote estratégia de portfólio, retendo participações em empresas que receberam incentivos à inovação de forma a cobrir os prejuízos de umas com os lucros de outras.

instituições de uma grande economia desenvolvida. É desta alternativa que tratamos a seguir.

3 Terra à Vista

We set sail on this new sea because there is new knowledge to be gained, and new rights to be won, and they must be won and used for the progress of all people. For space science, like nuclear science and all technology, has no conscience of its own. [...] We choose to go to the moon. We choose to go to the moon in this decade and do the other things, not because they are easy, but because they are hard, because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills, because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, and one which we intend to win, and the others, too.²⁵¹

John Fitzgerald Kennedy

Cutucar as entranhas da matéria no início do século passado abriu uma fenda para espiar um universo bizarro onde uma partícula é e não é, pode ocupar dois lugares ao mesmo tempo, desaparecer ou surgir do nada, influenciar outra instantaneamente à distância. Em se tratando de coisas muito pequenas, a incerteza não é, como em Economia, a mera medida de nossa incapacidade de prever o futuro, mas da recusa da própria natureza em se deixar conhecer. Princípio fundamental que rege todos os eventos, nos diz por meio das familiares probabilidades que quanto mais certo for nosso saber sobre uma variável, como a velocidade, mais incerto será sobre outra, posição por exemplo. É como se a partícula ao se perceber observada mudasse seu comportamento, não só no futuro, mas no presente e até no passado. Neste estranho mundo onde toda intuição falha, apenas a matemática faz sentido e é guia confiável. Mas, se somente um punhado de pessoas compreendesse os complicados cálculos da Mecânica Quântica, Niels Bohr seria uma delas. Após explicar a surpreendente superioridade dos nêutrons lentos na indução da radioatividade artificial descoberta experimentalmente por

²⁵¹ “Içamos velas neste novo mar porque há conhecimento novo e novos direitos a conquistar, e devem ser conquistados e utilizados para o progresso de toda gente. Pois Ciência Espacial, como Ciência Nuclear ou qualquer tecnologia, não tem consciência própria. (...) Escolhemos ir à Lua. Escolhemos ir à Lua nesta década e fazer as outras coisas, não porque são fáceis, mas porque são difíceis, porque esta meta servirá para organizar e medir o melhor das nossas energias e habilidades, porque este é um desafio que queremos aceitar, que não queremos adiar e que pretendemos vencer, e os outros também.” Trecho do discurso no *Rice Stadium*, Houston, Texas em 12/09/1962. Tradução própria. Os trechos grifados serão importantes em discussão adiante.

Fermi e a própria fissão atômica que este realizou sem perceber, Bohr declarou que o uso da nova energia seria impossível, a não ser que se transformasse os EEUU em uma fábrica gigante, tão incomensurável seria a capacidade industrial necessária.

Querendo ser desencorajador, a personificação da ciência pura,²⁵² terminou sendo profético. O empreendimento postumamente conhecido como Projeto *Manhattan* consumiu em seus curtos três anos de atividade dois bilhões de dólares, equivalentes a mais de vinte e seis bilhões hoje. Foi uma aposta de 0,7% da despesa militar total norte-americana na Segunda Grande Guerra, mas de forma tão concentrada que no ano de pico representou 1% de todo o orçamento federal ou 0,4% do PIB.²⁵³ Empregou cento e cinquenta mil pessoas, desapropriou cento e oitenta mil hectares de terra, ergueu três cidades, uma delas foi a quinta maior cidade do Tennessee na época e possuía a nona maior rede de ônibus dos EUA, sendo construída em ritmo tão frenético que uma casa mobiliada e equipada com eletrodomésticos era entregue a cada 30 minutos. Somente um dos três complexos consumia cerca de 1% de toda a energia elétrica dos EUA, enquanto as fundações de outro demandaram escavações equivalentes a um décimo do canal do Panamá. Quatrocentas mil barras de prata, quase quinze mil toneladas, foram retiradas das reservas do tesouro norte-americano e derretidas para fabricar condutores para uma das plantas de enriquecimento. Quando a lenta produção começou, a exemplo das formigas, soldados armados viajavam dois dias de trem com malas algemadas ao pulso contendo cilindros de níquel folheados a ouro com frações de grama do precioso urânio enriquecido até o laboratório onde a bomba era fabricada.²⁵⁴

²⁵²Niels Bohr, prêmio Nobel em 1922 por seu modelo do átomo, dá nome, no livro de Stokes (2005) ao quadrante correspondente à Ciência Básica não orientada ao uso. Os outros dois quadrantes relevantes são o de Edison, da Ciência Aplicada Orientada ao Uso e de Pasteur, da Ciência Básica Orientada ao Uso. Conforme quadro da página 118, reproduzido ao lado.

		Considerações de uso?	
		Não	Sim
Busca entendimento Fundamental?	Sim	Bohr	Pasteur
	Não	-	Edison

²⁵³ (STINE, 2009)

²⁵⁴ (REED, 2014).

Duas décadas depois, o Programa Apollo, durante seus pouco mais de dez anos de atividade, dispendeu algo entre vinte e dois e vinte e cinco bilhões de dólares, mais de cento e cinquenta bilhões em termos atuais. No pico dos investimentos consumiu 2,2% do orçamento federal ou 0,4% do PIB²⁵⁵. Empregou quatrocentas mil pessoas, subcontratou centenas de universidades e vinte mil empresas industriais. Realizou onze viagens tripuladas, oito delas fora da órbita terrestre, das quais seis pousaram na Lua. Os vinte e quatro homens que circularam nosso satélite e os doze que lá caminharam foram os únicos seres humanos a ir além de uma órbita baixa (menos de um centésimo da distância) e, ao que parece, não terão companhia tão cedo.

Nenhum desses números ou fatos será mais impressionante que a violência e desumanidade dos contextos onde tais projetos estavam inseridos ou dos propósitos que serviram. Nada é mais assombroso ou importante que a morte e o sofrimento causados aos muitos milhares de vítimas das duas únicas bombas atômicas já utilizadas. Mas, conforme o discurso famoso que abre o capítulo, nem a Espacial, nem a Nuclear, nem qualquer outra tecnologia, tem consciência própria e, embora seja muito provável que os ataques Hiroshima e Nagasaki não tenham tornado o mundo melhor, certamente o tornaram fundamentalmente diferente. Talvez não fosse necessário dizê-lo, mas nunca será demais ressaltar que não é nosso objetivo fazer apologia nem ao menos justificar tais empreendimentos. Porém, uma vez que nada é mais inevitável do o que já ocorreu, interessam-nos as lições que possamos tirar e se o tipo de organização inerente a estes projetos poderia ser replicado em outras situações e servir como instrumento de política tecnológica de incentivo à inovação.

Para tanto, na seção que segue, traçaremos uma brevíssima retrospectiva de ambas as iniciativas, pinçando apenas os elementos necessários à análise posterior, permeados por fatos essenciais à consistência da narrativa, ainda que contados superficialmente. Na segunda seção, visitaremos também brevemente algumas contribuições recentes sobre políticas Orientadas a Missão e argumentaremos que, mesmo concluindo acertadamente que Manhattan e Apollo não são modelos adequados à maioria das questões atuais, em geral, nem os casos

²⁵⁵ (GISLER; SORNETTE, 2009) e (STINE, 2009).

estudados, nem as políticas propostas têm exatamente as mesmas características daqueles programas históricos, que pertenceriam à categoria que neste ponto batizaremos de Grande Projeto, para restringir o foco de análise. Contrastando também com os Grandes Prêmios de Inovação, indicaremos as características que delimitariam nosso objeto de interesse.

Tecnologias não têm consciência, mas são dinâmicas e evoluem desigualmente no tempo e no espaço, configurando de vez em quando oportunidade para a aplicação de um Grande Projeto como instrumento de Política Tecnológica. Na terceira seção discutiremos as circunstâncias de tal oportunidade e apontaremos que muita da inadequação atribuída na seção precedente a este instrumento pode ser ligada à definição ambiciosa demais, do instrumento ou do problema em si em face ao estado da Tecnologia. Abordando os abundantes indícios e as poucas evidências sobre os benefícios advindos de Grandes Projetos históricos, defenderemos que tal situação decorre também das metas escolhidas. Por outro lado, argumentaremos que, contrariando as aparências, um Grande Projeto pode ampliar a exploração de trajetórias alternativas e também que as oportunidades para realização de Grandes Projetos podem se apresentar com mais frequência em países periféricos. Neste ponto, deixando brevemente de falar do passado, problematizaremos o reconhecimento de uma oportunidade para Grande Projeto no tempo presente e arriscaremos algumas considerações sobre a aplicabilidade deste instrumento à Economia Brasileira contemporânea.

Na quarta e última seção, além de sumariar os principais argumentos do trabalho, exploraremos como, se corretamente definido para uma oportunidade que se apresente, um Grande Projeto teria chance de complementar os instrumentos de política tecnológica apresentados no capítulo II, ajudando-os a superar as dificuldades ali apontadas e especulamos sobre uma agenda de pesquisa para aprofundar o tema.

3.1 A Lua e o Átomo

O *Manhattan Engineering District*, postumamente famoso como Projeto Manhattan, manteve este nome porque, embora tenha sido desenvolvido em várias áreas espalhadas pelo país, começou em um escritório em Nova Iorque e os militares pretendiam que não chamasse mais atenção que os outros distritos de engenharia envolvidos no esforço de guerra. Foi estabelecido oficialmente em junho de 1942, embora pesquisas relacionadas à fissão nuclear, no Reino Unido e nos EUA, já recebessem, em complementação ao orçamento de pesquisa das universidades onde eram desenvolvidas, financiamento militar havia alguns anos. Surgiu do alerta feito por cientistas aos governos dos dois países sobre a possibilidade de ser construído um artefato explosivo com capacidade destrutiva assombrosa, baseado na fissão do núcleo do átomo de urânio. A advertência ganhou cores dramáticas em carta de Einstein a Roosevelt quando a iminente invasão alemã da Bélgica poderia colocar em risco as enormes reservas de urânio do Congo Belga.²⁵⁶

Integralmente conduzido nos EEUU, mas com relevantes contribuições pontuais de cientistas britânicos, além de valer-se dos laboratórios de várias importantes universidades, dentre as quais a da Califórnia, de Chicago, Columbia, Minnesota, Virginia e Princeton, a iniciativa construiu três *sites*: (i) o de Clinton, no Tennessee, onde foram erigidas três colossais plantas de enriquecimento de urânio, baseadas em processos distintos e um reator atômico piloto; (ii) o de Hanford, no Estado de Washington, onde foram construídos três reatores de grande porte e três plantas para separação de plutônio; e (iii) o de Los Alamos, no Novo México, onde foi estabelecido o laboratório para projetar os artefatos atômicos. Enquanto os dois primeiros *sites* foram projetados, construídos, equipados e operados por empresas privadas contratadas por militares, o terceiro dependeu inteiramente do trabalho direto de técnicos e cientistas, civis e militares.

Vale notar, ainda que de passagem, que o Projeto *Manhattan* foi provavelmente uma das primeiras vezes na história em que a Ciência Básica esteve

²⁵⁶ (REED, 2014), (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2016a) e (COURTNEY G BROOKS, JAMES M. GRIMWOOD, 1979).

claramente à frente da Tecnologia. Não que muitas inovações puramente tecnológicas não tenham surgido ao longo das várias etapas para superar desafios igualmente grandiosos, mas, ao contrário do que sempre ocorreu e ainda geralmente ocorre, desta vez foi possível estabelecer relação causal entre as revolucionárias descobertas científicas no campo da física, as inovações tecnológicas e até os percalços no caminho. A não ser pelos muitos experimentos para determinar constantes físicas e verificar princípios de processo, nada foi testado previamente: nem os projetos das imensas instalações industriais, nem a própria bomba de Hiroshima, o que em si só constitui contundente testemunho sobre o triunfo da ciência. Não admira que figura chave deste projeto, Vannevar Bush, estando em posição de influenciar a organização da pesquisa científica em tempos de paz, protagonizasse a consolidação do Modelo Linear, pelo qual a pesquisa básica causa inovação, como paradigma vigente a partir do pós-guerra²⁵⁷.

Todo este monumental esforço culminou na produção de menos de duzentos e cinquenta quilos de urânio e de quinze de plutônio e na detonação de três bombas em um intervalo de poucos dias em agosto de 1945, uma de teste no deserto do Novo México e duas sobre cidades do Japão. Com a rendição deste império logo após a segunda explosão e a desistência da URSS de suas pretensões territoriais no arquipélago logo após a primeira, o projeto foi prontamente encerrado.

Mas a União Soviética também desenvolveu sua bomba pouco depois e com ajuda de cientistas alemães construiu mísseis balísticos de longo alcance e o primeiro intercontinental. Adaptou esta tecnologia para assombrar o mundo em outubro de 1957 colocando pela primeira vez um objeto em órbita, o satélite artificial Sputnik, novamente em setembro de 1959 com a força e precisão do Lunik II para acertar a Lua e outra vez, em abril de 1961, ao enviar Yuri Gagarin para uma volta completa em órbita da terra. Desacostumados a ficar atrás, os EEUU, que também tinham seus cientistas egressos da Alemanha Nazista, do grupo que construiu o primeiro míssil balístico, a V2, embarcaram no sonho do mais famoso deles,

²⁵⁷ O chamado Modelo Linear é abordado na primeira seção do primeiro capítulo e mencionado na terceira seção do segundo capítulo, embora em retrospectiva e lançando mão das ideias de Stokes (2005) não seja difícil argumentar que referidos avanços foram fruto de pesquisa básica orientada ao uso, situando-se portanto no quadrante de Pasteur, conforme classificação daquele autor. Ver nota de rodapé na primeira seção deste capítulo.

Wernher von Braun, decidindo pôr os pés na Lua, embora até aquele momento não acumulassem mais de quinze minutos no espaço.

A resposta norte-americana, o programa Apollo, foi em muitos aspectos radicalmente diferente do projeto Manhattan. Começando pela base científica: a familiar física newtoniana que a ninguém desconcertava. Não que os desafios fossem poucos e os cálculos fossem simples e menos importantes, mas agora no mundo macroscópico com tantas variáveis naturais e humanas, ao invés da matemática, somente a experimentação era guia confiável. Tudo que poderia ser testado, foi testado. Em marcha acelerada, mas rigorosamente passo a passo, ensaiou-se em laboratório, no solo, em aviões em queda livre e no espaço cada etapa que poderia ser separada do todo. Projetaram e construíram uma aeronave esdrúxula e perigosa para treinar astronautas a cavalgar um motor a jato, que imaginavam ser a coisa mais parecida com o módulo lunar que poderia voar na atmosfera terrestre, e também um foguete de grande porte somente para testar o mecanismo de segurança para ejeção da cápsula espacial. Lançaram foguetes não tripulados e com astronautas para ensaiar todas as manobras antecipadamente: dar voltas à Terra e à Lua, desacoplar e acoplar módulos, reentrar na atmosfera. Com a Apollo X chegaram ao requinte de desengatar do módulo de controle um módulo lunar tripulado e preparado para pousar no satélite, orbitando-o a ínfimos quinze quilômetros da superfície, cumprindo toda a missão, exceto realmente chegar ao destino.

Se o pior pesadelo dos arquitetos do Manhattan era a bomba não explodir e o precioso material físsil cair nas mãos do inimigo, para os do Apollo qualquer falha poderia custar vidas. E de fato três foram ceifadas, logo na Apollo I em incêndio durante despretensioso teste em solo. Sem o sigilo e a prioridade do esforço de guerra, a NASA dependia de apoio popular e político. Em tempos de comunicação de massa, converteram cientistas e astronautas em astros da TV e o projeto por pouco não sucumbiu no mesmo fogo que matou os astronautas. Uma instigante perspectiva atenua a importância da Guerra Fria para a sustentação do investimento, que afinal foi uma ordem de grandeza maior e sem a paúra da aniquilação, caso os nazistas chegassem à bomba primeiro, para ajudar a abrir os cofres. Argumenta que o programa terminou abruptamente muito antes que a tensão Leste-Oeste se dissipasse e que a cooperação espacial entre URSS e EUA,

intensificada após a conquista da Lua, foi uma constante. Sem aplicação bélica evidente, a iniciativa alimentava, mas não se resumia, a competição por prestígio internacional, a chamada corrida espacial. Por esta visão o Projeto Apollo seria exemplo de fenômeno tecnossocial inevitável, a bolha social, que beneficiaria a sociedade ao permitir a exploração de nichos de inovação. Definida como um super entusiasmo coletivo, acompanhado por investimentos e esforços insensatos, derivado de expectativas irreais sobre consequências benéficas, associadas à redução geral da aversão ao risco, quando fatores econômicos, políticos e sociais se entrelaçam em uma rede de retroalimentações positivas que espalha a empolgação excessiva e logra extraordinário comprometimento dos envolvidos no projeto, bem como de políticos e do público em geral.²⁵⁸

Se concedemos ao projeto Manhattan o título de triunfo da ciência, nada mais justo que atribuir ao programa Apollo o de triunfo da Tecnologia. Todo o comprometimento e entusiasmo foi canalizado para realização de astronômico número de tarefas extremamente difíceis e interdependentes, cuja coordenação constituiu provavelmente o mais complexo desafio de Engenharia já encarado pela humanidade, tanto que métodos criados ou aperfeiçoados para gerenciar este Grande Projeto na acepção do termo são até hoje utilizados.²⁵⁹ Contudo, como mais um sintoma de bolha social, súbita e melancolicamente o homem partiu da Lua em 1972 para nunca mais voltar.

²⁵⁸ O conceito de bolha social, algo inspirado em Carlota Perez e estabelecido em textos anteriores das autoras, é aplicado ao programa Apollo por Gisler e Sornette (2009).

²⁵⁹ Por exemplo os diagramas PERT (*programme evaluation and review technique*) (DICK; LAUNIUS, 2007, p. 137).

3.2 Nem Missão, nem Prêmio: Projeto

Há quem reparta o território das Políticas Tecnológicas em apenas duas glebas: Políticas Orientadas a Missão e Orientadas à Difusão. A primeira caracterizada pela concentração em pequeno número de tecnologias incipientes e de grandes empresas envolvidas, enquanto a segunda pelo seu exato oposto: maior número de empresas e de tecnologias mais maduras. Analisar maturidade tecnológica, participação de instituições de pesquisa públicas, sistema educacional, esforços de padronização e participação militar nas pesquisas permitiria classificar os Sistemas Nacionais de Inovação em uma das duas categorias. Por exemplo, os do Reino Unido, França e EUA seriam Orientados à Missão, enquanto os da Alemanha, Suécia e Japão seriam Orientados à Difusão. Uma crítica a essa abordagem, por ser indireta e porque há políticas que não são nem uma coisa nem outra, procurou refinar o esquema propondo a ordenação das políticas em duas dimensões: especificidade tecnológica na horizontal e proximidade da aplicação comercial na vertical, produzindo assim quatro quadrantes. Políticas que envolvam poucas tecnologias específicas já ou próximas de comerciais estariam do quadrante superior direito, das Orientadas a Missão. Se ao invés de específicas, forem muitas e gerais as tecnologias, mantendo o aspecto comercial, estariam no quadrante superior esquerdo, das políticas Orientadas à Difusão. No andar de baixo, longe do uso comercial, haveria o quadrante básico das tecnologias gerais e à direita deste, o básico II (ou de visão) das tecnologias específicas, como ilustrado a seguir.²⁶⁰

Especificidade Tecnológica	
Proximidade ao mercado	Difusão
	Missão
	Básico 1
	Básico 2 / visão

Tabela 4 - Políticas Tecnológicas Orientadas a Missão e à Difusão

²⁶⁰ A classificação em duas categorias foi introduzida por Henry Ergas em 1987 e a tentativa de refinamento em quatro, inspirada em Stokes (2005), por Cantner e Pyka (2001, p. 764).

Em outra parte,²⁶¹ diante do clamor de estudiosos e formuladores de políticas por um Programa Apollo ou Projeto Manhattan para enfrentar desafios sociais globais como o aquecimento global, doenças fora de controle, explosão populacional e urbanização em países pobres e estagnação nos ricos, a noção de Política Tecnológica Orientada a Missão surge, não mais como a categoria do parágrafo anterior, capaz de abarcar Instrumentos de Política e até Sistemas Nacionais de Inovação, mas como generalização daquele tipo de iniciativa governamental. Por esta visão, Apollo e Manhattan seriam apenas dois exemplos de uma classe mais ampla de programas financiados pelo Estado, a dos Programas de Pesquisa Orientada a Missão, que se caracterizam pelo foco em atingir objetivos específicos em suporte a metas do governo. Mas, embora emblemáticos, os dois programas históricos não serviriam de modelo para Políticas Orientadas a Missão capazes de enfrentar os formidáveis desafios sociais elencados, por quatro razões: (i) neles, atingir a meta tecnológica específica significava o fim do programa, enquanto os problemas atuais, além de mais gerais, exigiriam programas permanentes; (ii) o usuário da tecnologia desenvolvida nos dois projetos era a própria agência que o financiou, mas os potenciais usuários das inovações agora necessárias seriam os mais variados e com pouca ou nenhuma participação direta no financiamento. (iii) A bomba atômica e as naves espaciais, ao contrário das novas tecnologias, não tiveram que concorrer com tecnologias existentes e apoiadas por interesses poderosos; (iv) O financiamento federal que suportou integralmente os dois programas no século XX deve ser complementado com muitas outras fontes, em particular, o financiamento privado será necessário, não só ao desenvolvimento, mas principalmente para a adoção em larga escala das tecnologias desenvolvidas.

Já que não pode servir-se dos grandes projetos do passado como modelo direto, a Política Orientada a Missão deve ser concebida de maneira a dar direção geral à Mudança Técnica, mas sem restringir demais, nem impor um rumo definido a partir de cima por uma única entidade como *Department of War* ou *NASA*, de forma que a pretendida direcionalidade emergiria da miríade de agências públicas descentralizadas que compõem o Estado Desenvolvimentista em Rede,²⁶² integrando, portanto, estas duas visões. Além disso, a Orientação a Missão deveria

²⁶¹ (FORAY; MOWERY; NELSON, 2012).

²⁶² (BLOCK; KELLER, 2011a). Ver também última seção do segundo capítulo.

ser integrada também à perspectiva evolucionária dos Paradigmas Tecnoeconômicos²⁶³ e do Estado Empreendedor,²⁶⁴ para orientar políticas a fim de criar mercados, ao invés de meramente consertar suas falhas, e enfrentar os grandes problemas sociais como mudança climática, câncer e crise demográfica.²⁶⁵

3.2.1 Comida, Saúde e Energia

Porém, se baixamos o olhar do plano das ideias sobre como deveriam ser as Políticas Orientadas a Missão e miramos iniciativas concretas que receberam tal denominação, percebemos que o mais adequado seria chama-las de Orientadas a Missões. Por exemplo, no setor de Energia, que frequentemente é apontado como alvo ideal para este tipo de política por sua relação com a mudança climática, em geral as Políticas não são orientadas a objetivo único, mas tríplice: (i) segurança energética; (ii) redução de emissão de gases que provocam o efeito estufa; (iii) melhoria da competitividade, tanto no crescente mercado de produtos para energia sustentável quanto pelo impacto do custo da energia na competitividade da economia como um todo. Interessante que muitas vezes estas metas são conflitantes: a segurança energética de um país que possui grandes reservas de carvão pode ser inimiga do propósito de combater o aquecimento global, enquanto este pode se opor ao interesse de melhorar a competitividade, já que a geração de energia menos poluente é ainda normalmente mais cara.²⁶⁶

Vale o mesmo para outro setor, ao menos nos EUA, notório pela capacidade de arregimentar corações e mentes para a causa de financiar suas pesquisas, o de saúde, onde se reconhece já nos estatutos dos *National Institutes of Health (NIH)* a tensão entre duas missões: (i) buscar entendimento sobre a natureza e o comportamento dos seres vivos e (ii) aplicar tal conhecimento para estender a vida saudável e aliviar o peso das doenças. O apelo do segundo objetivo junto aos mais diversos grupos leva o congresso americano a continuamente elevar o orçamento destinado a pesquisas sobre a cura de doenças específicas, mas o dinheiro é sistematicamente redirecionado pelas instituições beneficiárias para o

²⁶³ (PEREZ, 2009). Ver também primeiro capítulo.

²⁶⁴ (MAZZUCATO, 2013). Também abordado no segundo capítulo.

²⁶⁵ (MAZZUCATO, 2016).

²⁶⁶ Conforme Anadón (2012) em sua análise das políticas de Pesquisa, Desenvolvimento e Demonstração para o Setor de Energia na China, Estados Unidos e Reino Unido na primeira década do século XXI.

primeiro objetivo.²⁶⁷ Vários fatores concorrem para o sucesso da estratégia, primeiramente a percepção pública de que está funcionando, isto é, a ciência médica vem avançando. Em segundo lugar, apoiando-se na crença comum de que a pesquisa básica, de alguma forma, acabará desembocando nas inovações desejadas,²⁶⁸ os dirigentes dos *NIH* souberam advogar em favor da *Serendipity hypothesis*,²⁶⁹ pela qual descobertas importantes e necessárias acontecem “por acaso” quando se realiza pesquisa básica ou com finalidade diversa, fazendo da distinção entre pesquisa básica e aplicada uma falsa dicotomia. Mostraram também sensibilidade política ao batizar os institutos, não em função dos ramos da ciência que exploram, mas das doenças que poderiam eventualmente ser curadas em decorrência de descobertas nestes campos, como Câncer, Alcoolismo, Enfermidades Digestivas e do Fígado, etc., ajudando a criar a percepção externa de que, ainda que determinada pesquisa busque o puro entendimento de questão científica específica, de alguma maneira servirá à cura da doença que faz parte do nome do instituto que a financiou.

Conta a anedota que logo após depoimento do diretor do Instituto de Microbiologia no Congresso Norte-americano em que um parlamentar exigiu que este esclarecesse “quem já tinha morrido de microbiologia”, a organização foi rebatizada como Instituto Nacional para Doenças Alérgicas e Infecciosas. Mas, mesmo com toda esta capacidade de articulação, vez por outra a pressão política por iniciativas mais direcionadas eleva-se a ponto de exigir alívio através da criação de programas específicos como o do coração artificial e a guerra contra o câncer nos anos 1960 e 70, ambos em parte inspirados no então recente êxito do Programa

²⁶⁷ Gráfico apresentado por Sampat (2012) mostra acentuado crescimento do financiamento das pesquisas biomédicas nos EUA entre 1938 e 2010. O orçamento anual, em dólares de 2000, grosso modo quintuplicou entre 1975 e 2005 e, embora tenha estabilizado em ter 2005 e 2010, o fez no incrível patamar de 25 bilhões de dólares. Segundo o autor, apesar da verba ser normalmente alocada pelos parlamentares para enfermidades pré-determinadas ou institutos a elas dedicados, a maior parte dos fundos é aplicada em pesquisas básicas propostas pelos próprios pesquisadores e selecionadas por seus pares.

²⁶⁸ A noção de que as inovações decorrem da ciência fundamental, presente desde os primórdios da civilização ocidental, tornou-se protagonista no debate sobre políticas públicas de incentivo à inovação a partir da Segunda Grande Guerra, conforme a argumentação de Stokes (2005) que visitamos na primeira seção do capítulo I.

²⁶⁹ Os três Príncipes de Serendip (antigo nome árabe para a ilha de Sri-Lanka), conto de fadas persa cujos heróis fazem descobertas afortunadas por acaso, deu origem à *Serendipity*, termo para o qual não encontramos tradução satisfatória. Por isso preferimos manter toda a expressão *Serendipity Hypothesis* como aparece em Sampat (2012).

Apollo. Naquela época, como hoje em dia, problemas cardíacos matavam mais norte-americanos que qualquer outra causa. A visão de tão atrevido inimigo, aliada à confiança de um povo capaz de conquistar a Lua talvez fizessem da construção do coração artificial uma meta quase óbvia, ao menos para os que ignoravam as dificuldades envolvidas.²⁷⁰

De pouco adiantou a percepção do *establishment* científico de que o nível do conhecimento fundamental sobre o problema não justificaria tal enxurrada de fundos. Em 1967 o congresso chegou a alocar mais dinheiro para o programa do que o próprio diretor dos *NIH* julgava necessário e, nos anos 1980, quando os *NIH* tentaram terminar o programa por causa de seus resultados decepcionantes, foram impedidos por senadores influentes. Não foi melhor a sorte na guerra ao câncer, declarada por Richard Nixon em 1971 em discurso que invocava o sucesso na fissão do átomo e da exploração espacial como inspiração. Além de, para surpresa de ninguém, o inimigo se mostrar invencível, a tentativa de retirar o Instituto do Câncer do domínio dos *NIH* suscitou grande resistência no meio, reacendendo o discurso em defesa da eficácia da pesquisa básica e da *Serendipity Hypothesis* e, apesar da presidência passar a exercer algum controle direto sobre a instituição, ela não foi desmembrada. No fim das contas, boa parte dos vultosos recursos foram, como de costume, primordialmente aplicados em pesquisas fundamentais propostas pelos próprios pesquisadores.²⁷¹

Já no setor agrícola, uma análise²⁷² que fornece três exemplos das chamadas inovações institucionais Orientadas a Missão não deixa transparecer tensões entre objetivos conflitantes, como no setor energético, ou pesquisa básica *versus* aplicada, como no setor de saúde. O primeiro caso, o do sistema de concessão de terras para escolas agrícolas nos EUA que se inicia na metade do século XIX, inspirado em modelos anteriores na Alemanha e Inglaterra, é tremendamente amplo e duradouro. Em 1862 cada Estado recebeu de 300 mil acres de terras federais para estabelecer sua Escola Agrícola. Ao ensino, acrescentou-se, vinte e cinco anos depois, pesquisa através do estabelecimento das Estações

²⁷⁰ Sampat (2012) chama tais mecanismos de alívio de pressão política genericamente de *safety valves* (válvulas de segurança) e os programas citados de *big-push mission oriented R&D Programs*.

²⁷¹ (SAMPAT, 2012).

²⁷² Este parágrafo e os seguintes que tratam do setor agrícola são baseados em Wright (2012).

Agrícolas Experimentais, associadas às Escolas Agrícolas, mas com terras adicionais. Outro ato federal, em 1890, garantiu financiamento estável ao sistema e mais um, em 1914, criou o sistema de cooperativas de extensão para difundir o conhecimento e facilitar a adoção de inovações. Considerando também que o governo federal, além de realizar suas próprias pesquisas, compensa os Estados por pesquisas cujos benefícios transcendem suas fronteiras, somente podemos entender um sistema tão vasto e complexo como Orientado a Missão se admitirmos que sua meta seja tão ampla como ampliar a produtividade agrícola no país.

O segundo exemplo, o apoio dado ao México que se iniciou em plena Segunda Guerra tinha também objetivos e recomendações muito amplas, que englobavam pecuária, manejo do solo e diversas culturas como trigo, milho e feijão. O sucesso na obtenção de novas variedades de trigo resistente à praga e muito mais produtiva, pelo qual a iniciativa ganhou notoriedade, parece ter ocorrido em grande parte graças à teimosia de um cientista em realizar pesquisa sem apoio financeiro da instituição para qual trabalhava e até contra a ordem direta de interrompê-la.²⁷³ Assim, mesmo tendo logrado resultado importante e específico, olhando para as metas iniciais devemos entender o programa como orientado à generalíssima missão de combater a fome no México.

O terceiro exemplo, ambientado nos anos 1950 à sombra do plano Marshall, começa com metas ainda mais amplas: combater o subdesenvolvimento, a fome e o comunismo. Mas, partindo de recomendações gerais como elevar a produção de alimento em 25% no Terceiro Mundo, bem como a indústria extrativista e a seguir a manufatura, rapidamente concentrou-se em suposta relação entre a fome e atração pelo comunismo na Ásia. Em seguida, valendo-se da experiência dos dois casos anteriores, especificou-se a missão de aumentar a produtividade do arroz, baseando-se em três simples observações: (i) o arroz era o cereal mais

²⁷³ Em seu artigo, Wright (2012) conta que uma das recomendações seguidas na criação do programa era a estruturação *top – down*: primeiro pesquisa, depois ensino e a seguir extensão. Por sua rigidez hierárquica, a instituição mostrou-se incapaz de acolher a mudança paradigmática proposta por N. E. Borlaug que compreendia duas colheitas por ano e o transporte de sementes de uma região à outra. O Cientista teve que conduzir os experimentos manualmente, ele e uns poucos trabalhadores mexicanos, sem poder contar sequer com trator. A pesquisa só não foi interrompida graças ao pedido de demissão de Borlaug e à casual visita de seu mentor que havia sido também mentor do diretor que se opunha à pesquisa.

importante do mundo; (ii) era o alimento de subsistência em grande parte da Ásia; (iii) o conhecimento científico sobre esta planta era escasso.²⁷⁴

O programa na Ásia também começou por uma avaliação de campo, só que, ao contrário do México uma década antes, desta vez encontrou na Índia uma base científica bastante desenvolvida. Identificou na cidade de Cuttack o que seria a “melhor instituição de pesquisa sobre arroz do mundo”, constituída segundo o modelo das Escolas Agrícolas norte-americanas e que empregava centenas de cientistas formados no exterior graças à ajuda dos EUA. Mas, o conhecimento estabelecido pode ser uma barreira. O governo indiano buscava ajuda, mas apenas para o milho, que ocupava só 3% das plantações no país por três razões: (i) apresentar menor custo de oportunidade em caso de falha; (ii) para não ameaçar cientistas indianos com novas abordagens já que o cereal recebia pouca atenção no país e (iii) porque, dado o conhecimento local, não precisariam de ajuda com os cereais mais importantes, arroz e trigo. Esta última crença era compartilhada por outra iniciativa agrícola norte-americana²⁷⁵ no mesmo país e na mesma época que se esforçou em difundir as melhores práticas e distribuir pacotes de sementes e fertilizantes. Porém, diferentemente do caso mexicano, em que os objetivos eram amplos e vagos e só se distinguiu o caminho do sucesso graças a lampejo criativo individual e quase contra a vontade da direção do programa, agora, certamente em função do que aprenderam no México, as oportunidades foram previamente ponderadas e a meta estava bem definida: descobrir melhores variedades de arroz.

Desta forma, em 1958, respondendo a pedido do Secretário da Agricultura das Filipinas do início da década e aproveitando fundos excedentes da iniciativa de difusão de melhores práticas que produziu resultados decepcionantes, foi fundado o Instituto Internacional do Arroz (*IRRI*) naquele país. Assim como no caso do trigo, o aumento de produtividade estava relacionado com a obtenção de variedades mais baixas. De fato, já era conhecido o potencial de plantas de baixa

²⁷⁴ A focalização do objetivo contada refere-se à evolução dos relatórios da Fundação Rockefeller sobre o tema, que foi responsável pelas missões do trigo no México e Arroz na Ásia. Este protagonismo, ora omitido no texto, será importante mais adiante. A ameaça comunista por causa da fome é exposta nas Filipinas em relatório da Fundação de 1951. Em 1953, John King, Economista e depois funcionário da CIA, coloca o arroz na Ásia como questão de segurança nacional que demandava resposta em vista dos grandes avanços em tecnologia agrícola na China comunista (WRIGHT, 2012).

²⁷⁵ Iniciativa da Fundação Ford lançada em 1951 (WRIGHT, 2012).

estatura cultivadas da China há milhares de anos e adotadas no Japão desde o século XIX por sua adaptação aos fertilizantes com muito nitrogênio. O *IRRI*, evidenciando a negligência das pesquisas anteriores, chegou, por meio de experimentos simples à *la Mendel*, à revolucionária descoberta de que no arroz, ao contrário de outros cereais, a estatura é determinada por um único gene dominante. Em dois anos o *IRRI* obteve o IR-8, variedade semianã de alto rendimento que transformou a oferta mundial de arroz na década seguinte.

Esta rasa revisão de algumas contribuições teóricas e estudos de casos setoriais, mesmo longe da exaustão, serve ao propósito de evidenciar que na literatura o termo “Política Orientada a Missão” significa muitas coisas e, no mais das vezes, refere-se a algo mais amplo do que queremos tratar aqui. Para evitar confusão reservaremos para nosso uso o termo “Grande Projeto”, cuja marca característica é a clareza da meta a ser atingida, que subordina e coordena as ações e a institucionalidade necessárias à sua consecução. Neste sentido, dentre os casos anteriores, somente classificaríamos como Grande Projeto, além dos icônicos Manhattan e Apollo, o do coração artificial e o do arroz.

3.2.2 Longitude

Talvez um contraponto ajude a aclarar. Se, por um lado, o tipo de desafio que um Grande Projeto se propõe a enfrentar não é tão amplo quanto das Missões dos exemplos anteriores, por outro não é tão estreito para que se espere que a mera especificação da meta e alocação de incentivos adequados seja suficiente para que agentes econômicos se mobilizem e alcancem a solução do problema. Este seria o caso de incentivos à inovação na forma de Grandes Prêmios que implicitamente assumem que determinada Mudança Técnica socialmente desejável somente não ocorre porque os benefícios econômicos colhidos pelo inovador não cobririam seus custos e riscos, por conta de falha de mercado ou coisa que o valha. Então, nada mais lógico que oferecer um prêmio em dinheiro à pessoa ou instituição que lograr produzir a inovação pretendida. Relativamente em moda ultimamente, mirando desde uma nave orbital reutilizável a remédio contra tuberculose, passando por automóveis com baixo consumo de combustível, o uso deste instrumento remonta

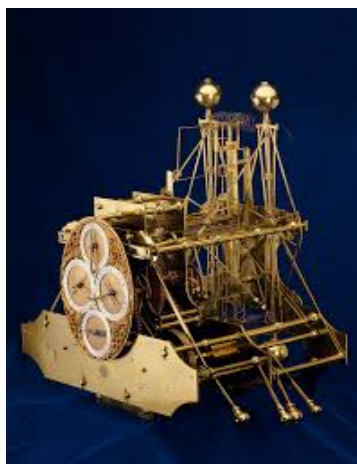
ao século XIII, mas provavelmente o exemplo mais famoso, e bastante ilustrativo, é o prêmio da longitude de 1714.²⁷⁶

Dois números, latitude, uma medida da distância até a Linha do Equador, e longitude, medida do deslocamento paralelo a esta linha, definem completamente a posição de qualquer objeto na superfície da Terra, como, por exemplo, um navio. Enquanto estimar a latitude sempre foi relativamente fácil através da observação da altura do sol ou outra estrela em relação ao horizonte, até o século XVIII determinar a longitude era um problema que fazia com que navegadores desperdiçassem desde tempo e recursos em rotas mais longas que o necessário até navios, frotas e a própria vida ao singrar regiões inesperadas, como no naufrágio em 1707 de quatro navios de guerra britânicos que retornavam do Mediterrâneo após combater na Guerra da Sucessão Espanhola, que ceifou mil e quinhentas vidas. Catástrofe de tal magnitude motivou o parlamento inglês a instituir, sete anos depois, um prêmio de vinte mil libras (equivalente a mais que doze milhões de dólares atualmente) a quem estabelecesse um método para calcular a longitude no mar, apesar de ofertas similares malsucedidas da Espanha em 1567 e Holanda em 1627.

Um carpinteiro de Yorkshire, John Harrison, imaginou uma solução tão simples conceitualmente quanto complicada praticamente. Já que a relação entre a hora local e a longitude é bem conhecida - quatro minutos para cada grau - e o sol informa a hora local, bastaria levar na viagem um relógio ajustado pela hora do porto de partida para, a partir da diferença entre horários, calcular a longitude. Só que para cumprir o requisito da premiação de desviar menos de meio grau de longitude em uma viagem da Inglaterra às Índias Ocidentais seria preciso um relógio que não atrasasse nem adiantasse mais de três segundos por dia, façanha impensável mesmo para os melhores relógios de pêndulo da época, ainda mais se sujeitos ao balanço do navio e às variações de temperatura da jornada. Harrison, que dedicou quatro décadas ao desafio, introduziu várias inovações como o mancal que

²⁷⁶ Murray *et al.* (2012) analisa à luz da teoria estabelecida o *Progressive Automotive Insurance X Prize* de 2008 que oferecia dez milhões de dólares a quem construísse um carro capaz de rodar cem milhas com um galão de combustível, cerca de 43 km/litro. O primeiro prêmio desta série, o *Ansari X Prize*, que ofereceu em 1996 a mesma quantia a quem construísse um veículo tripulado que atingisse cem quilômetros de altitude duas vezes no intervalo de duas semanas fez com que vinte e seis equipes dispendessem dez vezes o valor do prêmio no desafio, que foi finalmente vencido em 2004 pela *Spaceship One* de Paul Allen, cofundador da Microsoft. Em 2007 foram oferecidos vinte mil dólares a quem encontrasse um processo seguro e econômico para obtenção de PA-824 sintético, um medicamento contra Tuberculose.

dispensava lubrificação e peças bi metálicas para compensação de temperatura e, apesar de ter fabricado três modelos progressivamente mais precisos, foi somente com o quarto, de *design* radicalmente diferente que alcançou o objetivo. O cronógrafo compacto, que lembrava um grande relógio de bolso e superava com folga o requisito de precisão, foi efetivamente adotado pelos navegantes, mas não agraciado com a totalidade do prêmio - ao que parece em razão de interesses de membros do comitê organizador. Mais doze anos se passaram até que, por influência do rei George III, o parlamento resolveu pagar ao inventor soma pouco maior do que a que deixou de receber do comitê, sem que este nunca tenha oficialmente concedido o prêmio a ninguém.²⁷⁷



Primeiro Cronômetro Marítimo de Harrison. Fonte: Wikimedia Commons



Segundo Cronômetro Marítimo de Harrison. Fonte: Wikimedia Commons



Quarto Cronômetro Marítimo de Harrison. Fonte: Wikimedia Commons

Figura 5 - Cronômetros Marítimos

²⁷⁷ Murray *et al.* (2012) deliberadamente evita tratar grandes prêmios do passado porque, supostamente, a falta de dados objetivos lhes conferiria caráter de anedota, mas aponta o Prêmio da Longitude como o exemplo mais famoso e o livro de Sobel (1995) como a principal referência a respeito.

3.2.3 Assim Falou o Presidente

Então, distinguindo-se da Orientação a Missão pelo Objetivo Final inequívoco que coordena metas intermediárias que não estão em conflito com aquele, pelo contrário, a ele se subordinam, o Grande Projeto também se diferencia do outro extremo, o Grande Prêmio, porque sua própria complexidade e de seus objetivos subordinados exigem estrutura capaz de iniciativa e coordenação que não emergiria espontaneamente de um punhado de agentes autônomos caçando uma recompensa. Por incrível que pareça, no trecho do discurso do 35º presidente norte-americano que abre esta seção encontramos cinco características que permitem ilustrar o que queremos significar com a expressão Grande Projeto:

- (i) A meta deve ser específica, no caso, ir à Lua;
- (ii) O prazo deve ser bem definido, no caso, nesta década (1960);
- (iii) Devem ser reconhecidas ações importantes que precisam ser coordenadas, mas são subordinadas à meta, no caso, fazer as outras coisas (dentre elas desenvolver o foguete Saturno V)
- (iv) O desafio deve ser significativo, mas supostamente possível, no caso, porque são difíceis. Para ilustrar, dois contraexemplos que não possuem esta característica, (1) o mencionado interesse indiano em pesquisas sobre o milho que foi descartado, entre outras coisas, por sua irrelevância e presumível facilidade, (2) casos onde nossa ignorância é tamanha que não sabemos sequer se uma solução é possível, como a cura do câncer.
- (v) A iniciativa deve não só coordenar os esforços necessários, mas também prover métricas para sua avaliação, no caso, organizar e medir o melhor das nossas energias e habilidades.

3.3 Um Rumo

Se um homem não sabe a que porto se dirige, nenhum vento lhe será favorável.
Sêneca

A seção anterior traz três argumentos principais: (i) Grandes Projetos não são adequados aos desafios globais atuais pelas quatro razões ali apontadas; (ii) tal inadequação poderia ser superada se o Grande Projeto abdicasse de apontar direção estreita para o desenvolvimento e se integrasse a outras abordagens de política tecnológica e (iii) O significado que adotamos para o termo Grande Projeto está mais próximo dos históricos programas de defesa que de alguns dos exemplos de Política Orientada a Missão que encontramos na literatura econômica.²⁷⁸ Retomando daí diremos que os defensores do primeiro argumento têm razão, mas suas razões não são, a nosso juízo, os reais motivos da inadequação apontada. Voltaremos a elas adiante. Já as recomendações do segundo argumento, ao remediar as razões listadas no primeiro, afastariam ainda mais as Políticas Orientadas a Missão do que entendemos como Grande Projeto, que poderia ser útil como instrumento de incentivo à inovação, desde que uma oportunidade se apresente.

Para esclarecer as circunstâncias, não será somente na Economia, mas principalmente na Tecnologia, ou melhor, no estágio de desenvolvimento desta, que buscaremos determinar a serventia ou não da aplicação de iniciativa tipo Grande Projeto a determinado desafio. Nada de original – contribuições seminais defendem que dentro da caixa-preta tecnológica os economistas encontrarão algumas das respostas para seus quebra-cabeças.²⁷⁹ Ainda mais se inovação é mola motriz da economia como insistimos na terceira seção do primeiro capítulo.

Tanto a construção da bomba atômica quanto do coração artificial constituíam objetivos claros,²⁸⁰ mas só a arma era oportunidade para um Grande

²⁷⁸ Além do artigo de Foray, Mowery e Nelson (2012) citados na seção anterior, o primeiro argumento é defendido em outro trabalho de Mowery (2012), o segundo é de Mazzucato (2016) conforme ali mencionado, enquanto o terceiro é desenvolvido neste trabalho.

²⁷⁹ A ideia de que a maneira como economistas em geral tratam Tecnologia, como caixa preta, é em alguns casos insuficiente está presente em Rosenberg (2006).

²⁸⁰ Satisfazendo, portanto, o primeiro dos cinco critérios que encontramos no discurso de Kennedy.

Projeto porque o conhecimento acumulado antes do início do projeto permitia estabelecer, além da viabilidade da meta,²⁸¹ os caminhos possíveis e os desafios tecnológicos a serem superados.²⁸² Conforme contamos na seção anterior, o projeto do coração entusiasmava mais políticos que cientistas, que consideravam o projeto inviável com a tecnologia disponível ou que poderia ser desenvolvida. Factível seria a construção de válvulas cardíacas, o que foi efetivamente alcançado.²⁸³

Por outro lado, a longa sequência de avanços científicos levou físicos, tanto britânicos quanto norte-americanos, a concluir que a bomba à fissão nuclear não era só viável, mas inevitável. Ao alertar seus respectivos governos, atraíram financiamento para pesquisas, mas só quando os desafios deixaram de ser teóricos e experimentais para se tornarem industriais, passaram à alçada militar através do *Manhattan Engineering District*, nome oficial do projeto Manhattan, estabelecido em junho de 1942. Olhemos por uns instantes para dentro desta caixa-preta.²⁸⁴

3.3.1 Estranho Mundo

Radioatividade não empolgava muita gente em seus primórdios, mesmo tendo dois de seus pioneiros percebido em 1903, dois anos antes de Einstein deduzir sua famosa equação, quão incrivelmente energéticos eram os processos envolvidos. Curie observou que um grama de rádio emite cem calorias por hora. Mais dramático, Rutherford calculou que a reação química mais poderosa, a produção de água a partir de hidrogênio e oxigênio que mais tarde impulsionou naves espaciais, libera entre vinte mil e um milhão de vezes menos energia que a desintegração do rádio, ou ainda que durante sua existência, um grama de rádio emite energia suficiente para elevar quinhentas toneladas a uma milha de altura. O problema era que tamanha energia não estava a nosso alcance já que as reações não podiam ser provocadas e muito menos controladas. Não que os físicos se

²⁸¹ Quarto critério.

²⁸² Terceiro critério.

²⁸³ (SAMPAT, 2012). Embora o desenvolvimento das válvulas cardíacas seja um feito significativo que certamente se beneficiou do financiamento do projeto do coração, podemos especular que naquele momento já se poderia saber que a válvula era uma meta mais adequada para definição de projeto que o coração todo, por não depender de fonte de energia, dificuldade até hoje invencível.

²⁸⁴ Como na seção anterior, as informações históricas e científicas sobre o projeto Manhattan foram extraídas de Reed (2014).

cansassem de bombardear materiais e se assombrar com as estranhas leis que regem o mundo subatômico, mas seus projéteis, essencialmente núcleos de átomos, eram repelidos pelos núcleos dos alvos já que todo núcleo tem carga elétrica positiva. As emissões naturais de partículas alfa (núcleos de hélio) só têm velocidade para vencer a repulsão, chamada barreira de Coulomb, de elementos com número atômico menor ou igual a vinte, ou seja, tinham menos de um quinto da tabela periódica para brincar. O acelerador de partículas, nascido em 1928, mesmo ainda não sendo forte o suficiente, demandava muita eletricidade para os intensos campos elétricos e magnéticos necessários a seu funcionamento. Neste beco sem saída, o mesmo Rutherford declarou em 1933 que seria muito ineficiente extrair energia do átomo e quem procurasse aí uma fonte de energia estaria falando bobagem.²⁸⁵

Só que de tanto cutucar acabaram descobrindo que os núcleos são positivos porque são formados por partículas positivas e neutras e estas, criativamente batizadas de nêutrons, podem ser emitidas quando certos elementos, como o berílio, são bombardeados. Não demorou para alguém imaginar que, por não sofrer repulsão elétrica, um nêutron poderia atingir o núcleo de um átomo pesado, como o urânio. Se este ao ser atingido liberasse mais que um nêutron, o fenômeno se repetiria com os átomos vizinhos produzindo uma reação em cadeia e explosiva.²⁸⁶ Bastaria uma massa suficientemente grande de urânio, a massa crítica, para que um nêutron liberado por raio cósmico ou coisa assim não tivesse chance de escapar do material antes de atingir outro núcleo e detonar a reação. Calculada, a tal massa crítica nem era tão grande – caberia facilmente no volume de uma bola de futebol. Então, porque todo urânio da crosta terrestre já não explodiu há milhares de anos? A explicação reside no fato, descoberto também naqueles tempos, que muitos elementos têm isótopos, isto é, embora seus átomos tenham sempre o mesmo número de prótons e elétrons (é justamente esse número que define um

²⁸⁵ Em artigo publicado no *Times* de Londres (REED, 2014, p. 71). Embora, segundo o mesmo autor, o que Rutherford dizia poderia não corresponder a seus pensamentos em função de preocupações militares, ele esteve certo por algum tempo. O enriquecimento do urânio usado na bomba de Hiroshima consumiu cem vezes mais energia, na forma de eletricidade, do que foi liberado na explosão.

²⁸⁶ Outros pesquisadores ao bombardear o berílio com raios alfa toparam acidentalmente a misteriosa radiação, mas foi o ex-aluno de Rutherford, James Chadwick que, em 1932, concluiu que se tratava do nêutron que há tanto procurava. Leo Szilard, amigo de Einstein, imaginou a reação em cadeia e suas consequências estratégicas, alertou governantes e patenteou a ideia em 1934.

elemento químico), o número de nêutrons no núcleo pode variar. O Urânio natural é sempre uma mistura de dois ou mais isótopos, entre eles o de massa 235 (92 prótons + 143 nêutrons) que emite nêutrons ao ser atingido por um e o de massa 238 (146 nêutrons), que não emite nêutrons. Acontece que uma amostra típica tem bem menos que um por cento de U-235 e os nêutrons eventualmente emitidos acabam absorvidos pelo U-238 muito mais abundante, eliminando assim qualquer possibilidade de reação em cadeia. Este tipo de reação só seria possível se conseguissem separar um isótopo do outro de forma a obter U-235 quase puro, mas, isótopos de um mesmo elemento têm as mesmas propriedades químicas e por isso não podem ser separados pelos procedimentos desta ciência. Restariam métodos essencialmente mecânicos que tirassem proveito da diferença de massa entre os isótopos. Sabidamente ineficientes, ainda por cima teriam que lidar com massas muito próximas e grande diferença de concentração inicial, para não falar em compostos agressivos e perigosos. Foi neste contexto que Bohr, aparentemente sem querer, profetizou sua grande fábrica.

Seria este o fim da história, não fossem tão estranhas as regras que regem o mundo infinitesimal. Fermi descobriu que, contrariando o bom-senso, o mesmo urânio natural que absorvia os nêutrons recebidos diretamente da fonte, emitia muitos nêutrons se o feixe incidente passasse antes por uma camada de parafina. Coube a Bohr entender que, como bolas de bilhar que crescem e encolhem de acordo com a tacada, a probabilidade de um núcleo ser atingido por um nêutron depende – e muito – da velocidade deste. Para um nêutron lento o núcleo de U-238 era menor e o de U-235 maior, aumentando a chance deste ser atingido e emitir outros nêutrons. Não tardou para conceberem um jeito de provocar reação em cadeia com urânio natural: dividir a massa crítica em muitos pedacinhos e incrustá-los em massa muito maior de material capaz de moderar a velocidade dos nêutrons emitidos, como o grafite. Porém, os cálculos mostravam que se a reação assim produzida poderia eventualmente servir como fonte de energia – para submarinos, por exemplo, como sugerido já naquela época – seria muito lenta para um explosivo. Outro beco sem saída para quem estava atrás da bomba.

Mas, se ao ser atingido, o U-238 não emite nêutrons, tampouco fica indiferente. Emite outros tipos de radiação e transmuta-se no instável netúnio que rapidamente vira plutônio. Novamente a teoria que tenta explicar este mundo bizarro

saltou à frente da prática e do senso comum e previu que este material, não encontrado na natureza, seria propício à reação em cadeia, com a vantagem de, por ser elemento distinto, poder ser separado quimicamente do urânio que lhe dá origem. Concebia-se assim outra rota para a bomba, a partir de plutônio produzido em reatores alimentados com urânio natural. O problema é que, desde o começo, o novo elemento revelou-se muito esquisito. Seus átomos podem se agrupar de muitas maneiras diferentes de forma que, dependendo da variação da temperatura, sua densidade varia bruscamente e muitas vezes em sentido contrário ao usual, isto é, aquecer plutônio pode torná-lo mais denso. Em teoria a bomba seria detonada fazendo colidir duas massas subcríticas cuja soma fosse supercrítica, só que a massa crítica depende muito da densidade, fato que somado à tendência de autofissão de um dos isótopos do Plutônio poderia inviabilizar este *design* simples.

Mesmo sendo mais previsível, a bomba de urânio ainda dependeria da capacidade de enriquecer este material, aumentando a concentração do isótopo 235 de menos de 1% para mais de 90%. Quatro métodos se apresentavam: (i) separação eletromagnética, derivada do acelerador de partículas; (ii) difusão gasosa; (iii) difusão líquida térmica e (iv) centrifugação. Nenhum deles era fácil, mas somados ao caminho do plutônio constituíam as seis opções para produção da bomba – quatro formas de enriquecer urânio + dois *designs* do armamento - todas esboçadas teoricamente antes que o *Manhattan Engineering District* fosse estabelecido.

3.3.2 Oportunidade

Derivasse somente da guerra a lógica para organizar a pesquisa e desenvolvimento nuclear na forma de Grande Projeto, esperando que este arrancasse a fórceps do ventre do desconhecido as surpreendentes descobertas que viabilizaram a bomba atômica, dificilmente lograria êxito. Da mesma forma, parece ser difícil que, dado o conhecimento atual, nasça agora um Projeto bem-sucedido contra o câncer. A coincidência da guerra serviu para ditar o prazo,²⁸⁷ ainda que relativo: construir a bomba antes dos alemães, mas quando o

²⁸⁷ Terceiro critério encontrado no discurso de Kennedy.

protagonismo passou para os militares do *Department of War* que estruturam o *Manhattan Engineering District*, o rumo, ou melhor, os rumos, já estavam traçados, como evidencia o parêntesis que acabamos de fechar. Se, por outro lado, uma vez configurada a oportunidade tecnológica para estruturação do Grande Projeto continuasse a prevalecer a forma de organização anterior,²⁸⁸ certamente não se alcançaria tamanho desenvolvimento em tão pouco tempo. Porque a pedra fundamental do projeto foi a capacidade de calcular as necessidades:²⁸⁹ tantos quilos de urânio enriquecido ou plutônio que seriam gerados através de dezenas de meses de processamento de toneladas de minério em reatores ou milhares de estágios sequenciais de algum dos métodos de enriquecimento concebidos. Soube-se finalmente que a empreitada seria viável, mas desde que se produzisse em tempo hábil as muitas inovações necessárias para percorrer uma ou mais dos seis caminhos vislumbrados, o que não era de forma nenhuma garantido, tanto que cinco das seis alternativas foram efetivamente tentadas em escala industrial e quatro colaboraram significativamente para a consecução do objetivo final.

Sem surpresas da ciência desde o século XVII, mas precedida por grandes avanços técnicos em curto período, a oportunidade para realização de um Grande Projeto espacial também era clara e suportada por milionários estudos de viabilidade. Ainda mais com os militares valendo-se desta costumeira forma de organização para construir potentes foguetes necessários às então pesadas ogivas nucleares.²⁹⁰ Já que tanto russos quanto americanos entraram em órbita pela primeira vez na ponta de mísseis balísticos intercontinentais adaptados, não soava estranho organizar desta maneira o esforço para ir à Lua. Mesmo o desafio sendo muito maior – só tinham percorrido um centésimo da distância e sem desembarcar – foram capazes de antecipar as etapas e obstáculos no caminho. Isto, em oposição à exploração científica livre do desconhecido – na qual não se sabe aonde, muito menos como, se chegará – configura, do nosso ponto de vista, a oportunidade

²⁸⁸ Antes do estabelecimento do *Manhattan Engineering District*, as pesquisas foram coordenadas de forma menos hierárquica e centralizada pelo Comitê do Urânio, depois incorporado pelo *National Research Defense Committee*, posteriormente *Office of Scientific Research and Development*, que seu criador Vannevar Bush, quis que servisse de modelo para uma política científica e tecnológica no pós-guerra que privilegiasse a pesquisa básica, como citado anteriormente.

²⁸⁹ Este foi efetivamente o critério de Bush para estabelecer que a iniciativa estava madura o suficiente para ser acelerada sob a tutela militar: a realização de “sólidos” cálculos de engenharia.

²⁹⁰ (BAINBRIDGE, 2015)

tecnológica para um Grande Projeto. Com efeito, soube-se de antemão que foguetes às vezes explodem e por isso deveria haver mecanismo seguro para separar a cápsula do resto,²⁹¹ que o atrito viscoso ao reentrar na atmosfera produz calor intenso e quase imanobrável turbulência, que para escapulir da gravidade da Terra seria preciso determinada velocidade somente atingível usando poderosos foguetes que descartassem o peso morto pelo caminho e, portanto, deveriam ser divididos em estágios. Soube-se também que os trajes deveriam ser pressurizados e ainda assim flexíveis e refrigerados para que alguém suportasse mais do que poucos segundos fora da atmosfera e que a Lua tem um lado escuro onde a rádio comunicação silencia e os pilotos ficam entregues à própria sorte. Sabiam também calcular o tamanho dos foguetes necessários, na melhor das hipóteses um colosso com cento e dez metros e três mil toneladas, vinte vezes maior do que seu antecessor que colocara dois americanos em órbita.²⁹²

Porém, em meio a estas máquinas imensas, uma de dimensões muito mais modestas preocupava tanto que foi objeto do primeiro contrato importante do programa, assinado menos de três meses após a decisão de ir à Lua: o sistema de navegação, guiagem e controle. Firmado com o *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), provocou o desenvolvimento do primeiro computador baseado em circuitos integrados do mundo e inovações em programação que praticamente fundaram a Engenharia de *software*, parte mais abstrata e trabalhosa do sistema. Mesmo com acompanhamento atento da NASA, contando com abundantes recursos materiais e consumindo mil e quatrocentos homens-ano de programação, o começar cedo se mostrou essencial para não comprometer o prazo da missão.²⁹³ A possibilidade de apreender, antes de lançar-se à inédita jornada, todos os trechos e alternativas do caminho, sabendo que dentre eles um será mais árduo e demorado, mas transponível, denota de forma contundente que a oportunidade para um Grande Projeto já se configurara.

²⁹¹ Com essa finalidade foi desenvolvido pela Lockheed o *Launch Escape System* (LES), um foguete preso à ponta da cápsula espacial para separá-la do resto do veículo se fosse preciso abortar o lançamento. Apenas para testá-lo em voo foi desenvolvido pela General Dynamics/Convair o veículo lançador *Little Joe II* (LYNDON B. JOHNSON SPACE CENTER, 1975).

²⁹² (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2016a) e (COURTNEY G BROOKS, JAMES M. GRIMWOOD, 1979).

²⁹³ (COURTNEY G BROOKS, JAMES M. GRIMWOOD, 1979).

3.3.3 *Trilhando caminhos paralelos*

Pegaremos este gancho para confrontar o segundo argumento que resgatamos da seção anterior, quando afirma que uma direção muito estreita traria dificuldades para o instrumento de política que aqui abordamos.²⁹⁴ Se a especificidade da meta limita a criatividade e impede a invenção da melhor solução para o problema, será porque o entendimento deste ainda não se aprofundou a ponto de configurar a oportunidade para um Grande Projeto. Caso contrário, este tipo de iniciativa pode deliberadamente garantir que várias trajetórias tecnológicas sejam exploradas, evitando eventual aprisionamento²⁹⁵ em uma delas. Com efeito, o Projeto Manhattan abandonou na largada apenas uma das seis trajetórias tecnológicas para a bomba. Para enriquecer urânio, começou pelo método mais promissor, o eletromagnético, que precisaria, segundo contas preliminares, de dois mil equipamentos agrupados em vários estágios para produzir urânio em quantidade e concentração suficiente, mas graças à inovação de utilizar múltiplos emissores por equipamento, bastou construir e operar pouco menos de mil e duzentas máquinas. Já a construção do imenso edifício em forma de U que abrigou a planta de difusão gasosa começou apenas três meses depois da eletromagnética e prosseguiu de forma concomitante a esta e à própria pesquisa para desenvolver a tecnologia chave da membrana separadora, que equipou os quase três mil tanques do processo. Por garantia, caso tudo mais falhasse, começaram a construir, cerca de um ano depois, a planta de difusão térmica, apesar das contas anteciparem que para enriquecer à concentração necessária, a quantidade de urânio requerida, seria preciso fabricar quase vinte e duas mil colunas que levariam quase dois anos somente para entrar em equilíbrio. Pouco mais que duas mil e cem colunas foram efetivamente instaladas porque, ao longo da construção, amadureceu a ideia de, já que os três funcionaram, utilizar cada método na faixa de enriquecimento em que era mais eficiente. Assim, a planta eletromagnética que inicialmente fazia todo o trabalho passou a ser alimentada com insumo levemente enriquecido (de 0,72% para 0,86%) proveniente da difusão térmica. Posteriormente, quando a difusão gasosa (que era eficiente para concentrar até 36%) entrou em operação, esta passou a ser a etapa intermediária, recebendo material levemente enriquecido da difusão térmica e alimentado os

²⁹⁴ (MAZZUCATO, 2016)

²⁹⁵ Ver os conceitos *path-dependency* e *lock-in effect* desenvolvidos por David (1985) e Arthur (1990).

estágios finais da planta eletromagnética. Mesmo guardando alguma semelhança com processos conhecidos, o sucesso destes três métodos dependeu de muita criatividade e inovação para fazer frente às imensas dificuldades, antecipadas e imprevistas. Pior ainda no caso da produção de plutônio, realizada em outro lugar e empregando imensas plantas de separação e reatores atômicos nunca antes construídos. Quando se confirmaram os temores da autofissão do plutônio, os cientistas que desenvolviam a bomba em um terceiro *site*, diante da perspectiva de desperdiçar todo o esforço e dinheiro dispendidos na produção de plutônio, abandonaram a facilidade do *design* único baseado em canhão naval, reservando este para o bem-comportado urânio e acelerando o desenvolvimento da alternativa muitíssimo mais complicada, baseada em implosão, para o plutônio.

À mercê de avaliações econômicas e agendas de pesquisa, dificilmente se teria percorrido extensivamente tantas trajetórias tecnológicas alternativas, ainda mais com as surpresas que somente a tentativa de fazer coisas inéditas em grandes proporções revela. Quando a guerra terminou, inovações desenvolvidas durante sua implantação tornaram a difusão gasosa muito mais eficiente que os outros métodos. Menos de um mês após o fim da guerra, a operação da planta de difusão térmica foi abruptamente encerrada e iniciou-se o desligamento da separação eletromagnética, que durou menos de três semanas. Algumas de suas máquinas foram convertidas à produção de marcadores radioativos usados em diagnósticos médicos, isótopos para pesquisa e tratamento de câncer. Graças à sua extraordinária eficiência, a planta de difusão gasosa, operou durante vinte anos e consolidou o processo como *design* dominante²⁹⁶ para enriquecimento de urânio nos EUA. Outras plantas do tipo foram construídas e uma delas opera até hoje, embora, a partir dos anos 1980 a tecnologia venha sendo substituída pela ultracentrifugação, ironicamente a única trajetória tecnológica abandonada pelo projeto *Manhattan* no seu princípio. Como ficou tragicamente demonstrado, as duas trajetórias para a bomba funcionaram, a de urânio baseada em cano de canhão em Hiroshima e a de plutônio baseada em implosão em Nagasaki. Dada a escassez de material físsil, só a de plutônio foi

²⁹⁶ Conforme mencionado no primeiro capítulo, *design* dominante é o conjunto de características chave que se tornam um padrão de fato, eliminando a possibilidade de trajetórias que não envolvam tais características. Indica maturidade do paradigma tecnológico. O conceito é introduzido por Utterback e Abernathy (1975).

testada, através da detonação no deserto do Novo México de artefato idêntico, poucos dias antes do bombardeio.

Também o programa Apollo explorou deliberadamente variedade de alternativas tecnológicas como dificilmente ocorreria sem uma coordenação central com este propósito específico. Começando pelo estudo de viabilidade que, para que elaborassem suas concepções sobre a futura missão, pagou duzentos e cinquenta mil dólares a General Dynamics/Convair, General Electric e G.L. Martin, que respectivamente gastaram um, dois e três milhões em suas análises. Se não chegou a construir soluções independentes completas, como o Manhattan, foi porque as circunstâncias sociais eram mais brandas e a tecnologia envolvida sistemicamente mais complexa e mais dependente de fatores externos, naturais e humanos. A possibilidade de construir protótipos e simuladores para testar pontos críticos das soluções concebidas e treinar operadores permitia descartar ou conferia segurança à trajetória escolhida. E, embora as tecnologias desenvolvidas fossem sigilosas, os propósitos, etapas e principais componentes eram de conhecimento público, permitindo ampla concorrência para contratação de firmas que apresentavam propostas técnicas diversas e detalhadas, baseadas em suas experiências e pesquisas próprias.

Para a concorrência para projeto e construção da nave principal, quatorze empresas foram convidadas,²⁹⁷ onze firmas apresentaram proposta, nove agrupadas em consórcio e duas isoladas - a mesma Martin que recebeu a melhor nota do comitê avaliador e a *North American Aviation*, que ficou em segundo, mas terminou sendo escolhida por sua longa relação com a agência e efetivamente construiu a nave e o segundo estágio do veículo lançador. Já para o Módulo Lunar, que se separava da nave principal para pousar no satélite, foram convidadas onze empresas, das quais nove responderam em três meses. Sagrou-se vitoriosa a pequena Grumman, que já investia por conta própria no projeto de uma nave para este fim e por isso apresentou proposta mais detalhada que as concorrentes. Porém,

²⁹⁷ As catorze firmas convidadas foram: Boeing, Chance Vought, Douglas, General Dynamics, General Electric, Goodyear Aircraft, Grumman, Lockheed, Martin, McDonnell, North American, Radio Corporation of America, Republic Aviation, and Space Technology Laboratories (STL). Os cinco proponentes foram: General Dynamics e Avco; General Electric, Douglas, Grumman e STL; McDonnell, Lockheed, Hughes e Chance Vought; Martin; e North American Aviation (hoje Rockwell), conforme texto de Levine (1979) que é fonte de informação para este parágrafo e o seguinte.

mesmo após a contratação, muitas alternativas de *design* foram avaliadas, inclusive através da construção de *mockups* em tamanho real e protótipos. Procedimento semelhante orientou a concepção do veículo lançador que considerou a utilização de combustível sólido e desenvolveu projetos alternativos, menores e maiores do que o que foi efetivamente utilizado. O foguete final incorporou peças e conhecimento adquirido no processo e foi composto por um terceiro estágio da Douglas, o já mencionado segundo estágio da North American e o primeiro da Boeing, que também foi responsável pela integração do Saturno V. Sua escolha deveu-se principalmente à capacidade de gerenciamento de projetos complexos e à vontade da agência de fomentar um novo competidor no ramo espacial.

3.3.4 Derramando Tesouros pelo Caminho

O investimento em bens de capital no setor aeroespacial cresceu 97% por cento durante o Programa Apollo, mas, no resto da economia cresceu ainda mais, 127%. Concomitantemente, produção e produtividade siderúrgica e eficiência da produção de energia elétrica também melhoraram significativamente, porém todas estas tendências se reverteram após o fim do programa, mais rapidamente no setor aeroespacial, mas atingindo os outros em pouco tempo. Até a inflação caiu para menos da metade da década anterior e mais que octuplicou na década seguinte.²⁹⁸ Como os dados sempre acabam confessando, é possível invocar correlações deste tipo – entre a ocorrência de Grandes Projetos e dinamismo econômico – para tentar justificar a ideia, durante bom tempo tomada como auto evidente, pela qual a Pesquisa e Desenvolvimento militares transbordam²⁹⁹ abundantemente no desenvolvimento de tecnologias de aplicação comercial, que terminam produzindo

²⁹⁸ A inflação anual média no atacado na década anterior ao projeto Apollo foi de 2,4%, 9,3% na década seguinte e 1,1% durante o programa, conforme dados para os EUA apresentados na análise de Gallagher (1987) que exagera seu já marcado viés ao ignorar fatores exógenos como os dois choques do petróleo na década de 1970.

²⁹⁹ Na literatura econômica, em referência a avanços tecnológicos provenientes de desenvolvimentos em outra área, encontramos os termos *Technological Spinoff* ou *Technological Spillover*. Embora a diferenciação nem sempre seja clara, ficaremos com a conceituação de Bainbridge (2015) pela qual *spinoff* é o aproveitamento de uma invenção mais ou menos da forma como ela foi criada na área de origem, enquanto *spillover* é uma forma de transferência de tecnologia mais abstrata que ocorre, por exemplo, quando um profissional, ao mudar de área, leva consigo conhecimentos adquiridos, ou quando conhecimentos tecnológicos são comunicados socialmente. O autor defende que *spinoffs* têm maior apelo popular, por serem mais facilmente comunicáveis através de histórias, com personagens e enredo cativantes.

bem-estar econômico³⁰⁰. Além do apelo aos números, destacamos três argumentações neste sentido.

Pela primeira, bem curiosa, o mero anúncio de um Grande Projeto desencadearia uma onda de investimentos em bens de produção, aumentando a intensidade de capital em toda economia, da mineração à manufatura, passando pela construção civil e utilidades. A nova safra de bens de capital incorporaria tecnologias inovadoras desenvolvidas no Grande Projeto anterior que não tiveram oportunidade de aplicação comercial, o que impulsionaria ainda mais a produtividade. Com o fim do Grande Projeto em questão e o lançamento do próximo, o ciclo se repetiria.³⁰¹ Na segunda explicação, as inovações revolucionárias que levam a tecnologias de propósito geral não seriam adequadamente fomentadas pelo capital privado, impaciente e avesso ao risco. Somente o Estado se disporia a financiar tais investimentos, e mesmo assim quando pressionado por situação de guerra, real ou apenas temida. Como seria o efeito perversivo destas tecnologias que impulsionaria o crescimento econômico, ficaria demonstrada a relação entre investimento militar em pesquisa, normalmente em período de conflito, e prosperidade econômica.³⁰² Já de acordo com a terceira explicação, Grandes Projetos são exemplos de bolha social, como mencionado anteriormente, daí seu caráter cíclico e fim abrupto. Seria somente nestas situações de entusiasmo generalizado que os agentes tomariam a decisão, irracional do ponto de vista econômico, de correr os riscos inerentes ao desenvolvimento de inovações radicais, indutoras do crescimento.³⁰³

As estatísticas e os três argumentos anteriores passam ao largo da problemática associação entre bem-estar social, crescimento econômico e Mudança Técnica, cuja exposição ocupou duas seções do primeiro capítulo. Ao assumirem, implícita ou explicitamente, que inovação provoca bem-estar, restou demonstrar que

³⁰⁰ Ruttan (2006) afirma que durante as duas primeiras décadas do pós-guerra, a ideia do *spinoff* comercial de P&D militar era tida como auto evidente fator de aumento de produtividade em toda a economia. Já para Gisler e Sornette (2009) esta visão prevaleceu durante o Projeto Apollo e perdurou ao menos enquanto este gozava de apoio popular.

³⁰¹ Neste mecanismo esboçado por Gallagher (1987), as tecnologias desenvolvidas para os mísseis balísticos intercontinentais foram incorporadas à economia quando o Projeto Apollo se iniciou.

³⁰² Para Ruttan (2006) são seis as tecnologias de propósito geral: Aeronáutica, Energia Nuclear, Computação, Semicondutores, Internet, Comunicação e Observação Espaciais.

³⁰³ Gisler e Sornette (2009) elaboram o conceito de bolha social em analogia à bolha de ativos nos mercados financeiros e o aplicam à análise do Programa Apollo.

projetos como Manhattan e Apollo produziram inovações distintas das propostas em suas metas originais, já que meios para viajar à Lua ou arrasar cidades são Mudanças Técnicas extraordinárias, mas no mínimo, social e economicamente, questionáveis.

Neste sentido, considerável esforço tem sido empreendido na tentativa de evidenciar que as tecnologias desenvolvidas durante estes projetos encontraram uso comercial. Particularmente o projeto Apollo, talvez pela crescente força da opinião pública e dos meios de comunicação de massa na época, perseguiu sistematicamente tais evidências desde seu início.³⁰⁴ Por exemplo, registra-se que durante o projeto Manhattan foram criadas cinco mil e seiscentas invenções e solicitadas secretamente duas mil e cem patentes e que a NASA lista quase dois mil *spinoffs* de tecnologias por ela desenvolvidas.³⁰⁵

Alguns casos são notórios, como as aplicações comerciais de artefatos criados para atender metas subordinadas aos objetivos principais, tanto que serviram para reforçar a defesa destes programas antes mesmo de seu início, por exemplo, o uso de foguetes em lançamento de satélites e o emprego destes em telecomunicações, geolocalização, meteorologia, etc., ou a produção de energia elétrica em reatores atômicos, embora muito desenvolvimento e cerca de uma década separem estes equipamentos de seus ancestrais do Projeto *Manhattan*, que jogavam fora a energia gerada, aquecendo e contaminando o rio Columbia. Mas, outros artefatos, que surgiram como resposta a necessidades não antecipadas, também se prestaram à exploração econômica: espectrômetro portátil para detecção de vazamento de gás, tubo de aço com revestimento interno de níquel para poupar este metal, revestimento de teflon para dispensar lubrificação em válvulas e bombas. Há ainda a adaptação inovadora das tecnologias desenvolvidas para fins distintos, como de aceleradores de partículas e reatores de pequeno porte na medicina, para produzir isótopos usados em exames diagnósticos e tratamento de câncer. Já a transferência para empresas privadas gerou frutos como material de construção a partir do tecido dos trajes espaciais, sistemas de tratamento de água baseados no

³⁰⁴ A NASA produz relatórios regulares sobre *spinoffs* desde 1962, e mantém uma base de dados interativa que registra *spinoffs* desde 1976 (BAINBRIDGE, 2015).

³⁰⁵ (ATOMIC HERITAGE FOUNDATION, 2016) e (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2016b). Respectivamente, embora este último não se refira especificamente do programa Apollo.

desenvolvido para a cápsula espacial, equipamento de diálise renal empregando as mesmas reações químicas utilizadas para eliminar toxinas dos fluidos na nave, além de isolamento térmico para tubulações, alimentos desidratados e roupas resistentes à chama que são aplicações diretas dos materiais e processos criados para o programa espacial.³⁰⁶

A ocorrência de *spinoffs* parece ser um argumento atrativo para a defesa de programas de pesquisa, mesmo em instituições dedicadas a áreas com inequívoca relação com mercados importantes, como energia, principalmente depois que a enxurrada liberalizante dos anos 1980 colocou na berlinda políticas industriais e tecnológicas em geral³⁰⁷ e ainda mais as setoriais e específicas, tanto que, além de inventariar seus *spinoffs*, pesquisadores advogam que, ao invés de deixados ao sabor do acaso, *spinoffs* podem ser gerenciados e estrategicamente contribuir para os resultados dos programas que, caso contrário, seriam seriamente subavaliados. Para tanto seria preciso reconhecer dois tipos de *spinoff*: (i) nova aplicação ou novo mercado de tecnologia criada pela instituição e (ii) tecnologia de segunda geração desenvolvida a partir de outra criada na instituição. Este segundo tipo, mais relevante, se subdividiria em outros três: (i) grande aprimoramento; (ii) nova tecnologia relacionada e (iii) nova tecnologia não relacionada, conforme envolvam a adição de tecnologia básica, chave ou ambas. O segredo do pretendido gerenciamento seria perseguir projetos que envolvam núcleos tecnológicos robustos, isto é, que permitam desacoplar suas tecnologias chave, que conferem ao artefato seu diferencial competitivo, das básicas, de aplicação geral.³⁰⁸

Este afinho em caçar *spinoffs* é coerente com o paradigma do modelo linear e o complementa no apoio ao investimento público em Ciência e Tecnologia, ao trazer dados de realidade que corroborem a noção de que a ciência básica de alguma forma e em algum momento desembocará na criação de novas tecnologias socialmente úteis, até quando estes investimentos são realizados por agências com missões tão distantes do cotidiano da maioria da população, como a exploração

³⁰⁶ (REED, 2014), (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2016a) e (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2016b)

³⁰⁷ (BLOCK; KELLER, 2011a).

³⁰⁸ Este é, muito sucintamente, o ponto de vista de Brown e Wilson (1993) baseado em extensa coleta de dados sobre *spinoffs* de projetos de desenvolvimento tecnológicos não atômicos apoiados pelo laboratório do DoE (Department of Energy) em Oak Ridge, remanescente das instalações do projeto Manhattan.

espacial. A grande vantagem do *spinoff* é sua materialidade: artefatos da vida real e protagonistas em carne e osso compõem narrativa facilmente assimilável pelo grande público e atrativa para os meios de comunicação de massa, mas as dificuldades são muitas, tanto metodológicas quanto práticas. No mais das vezes é difícil separar claramente uma invenção de outra relacionada e mesmo que um indivíduo leve o crédito, raramente terá trabalhado sozinho e muito deverá a conhecimento de origens diversas, tanto que quando o conhecimento necessário a uma inovação se torna disponível esta costuma surgir em mais de um lugar, independentemente e quase simultaneamente. Problemas assim só aumentam conforme artefatos cruzam fronteiras entre organizações em seu caminho para o mercado, incorporando contribuições de outras fontes, tornando *spinoffs* muito difíceis de rastrear. Apesar do apelo, quem não se contenta com histórias superficiais e às segues com zelo percebe que na grande maioria das vezes o conhecimento cruza tais fronteiras acompanhando profissionais que trocam de emprego ou nem isso, estes profissionais levam apenas habilidades adquiridas e métodos aprendidos, criando os artefatos em seu tempo livre ou já nas firmas que os empregaram. Desta forma seriam mais corretamente classificados como *spillovers*, tornando os *spinoffs* inequívocos frustrantemente raros e com relativamente pouco impacto econômico. Mas mesmo estes não têm na agência governamental a origem indisputada da invenção, quer seja porque muitas vezes a agência aperfeiçoa tecnologia que já existia em outra parte, quer seja porque outros desenvolvimentos paralelos também contribuem para inovação. É muito plausível que os *spillovers* de projetos como Apollo e Manhattan tenham contribuído para a incontestada liderança dos EUA na produção de inovações, mas sua natureza abstrata e a interação entre agências no complexo emaranhado de políticas tecnológicas daquele país tornam sua mensuração e divulgação muito complicadas.³⁰⁹

Não ignorando as dificuldades, reconhecemos que a avaliação de *spinoffs* é um esforço válido e que alguns deles podem ser antecipados como nos casos

³⁰⁹ Conforme Brown e Wilson (1993), a própria natureza dos *spinoffs* dificulta seu estudo por transcender as fronteiras das organizações onde as tecnologias surgiram, muitas vezes criando novas empresas e mercados. A segunda parte do livro de Dick (2015), intitulada "*spinoff?*", que aborda inovações médicas, na fabricação de circuitos integrados e sistemas eletromecânicos miniaturizados, explora em detalhe outras dificuldades, que vão da conceituação do termo, passando pela propensão sociológica em identificar invenções e nomear inventores quando a realidade é muito mais embaçada, até interesses publicitários.

citados, ou até incorporados à prática de *design*,³¹⁰ mas consideramos que não devem se tornar preocupação central a ponto de influenciar a meta do Grande Projeto, sob pena de transformá-lo em outra coisa. O gerenciamento estratégico de *spinoffs* mencionado acima, embora intelectualmente instigante, se for de todo factível fará mais sentido se incorporado a instrumentos de política com metas não tão estritas, como os Orientados a Missão da seção anterior e não a um Grande Projeto que deve se justificar por si mesmo, isto é, por sua meta. A segunda e a quarta razões para inadequação deste instrumento aos desafios globais atuais,³¹¹ resgatadas da seção anterior, relacionam-se entre si e a este ponto. A premência em identificar efeitos colaterais que beneficiem amplamente os contribuintes não decorre do fato de agência governamental ser contratante e financiadora do projeto, mas de seu objetivo que se afasta das necessidades ordinárias. Uma meta mais piedosa, como o coração artificial, embora contratada e financiada pelo mesmo governo, prescinde deste tipo de justificativa e, se adequadamente definida e alcançada, produziria artefato de vasta aplicação por agentes (médicos, hospitais) que não se envolveram no financiamento do projeto, mas provavelmente estariam dispostos a arcar com os custos de adoção desde que estes pudessem ser suportados pelo beneficiário final (pacientes, sistema público ou privado de saúde). Saindo do terreno das suposições, o Projeto que desenvolveu o arroz IR-8 que foi amplamente adotado por agentes que não participaram de seu financiamento serve também para mostrar que o conceito de Grande Projeto requer que o financiamento seja centralizado, mas não necessariamente governamental, uma vez que a iniciativa em questão foi financiada pela Fundação Rockefeller com apoio da Ford.³¹²

Mas, mesmo com metas alheias às possibilidades e aos interesses econômicos dos agentes privados, estes podem ser chamados a participar como demonstra o extenso e fundamental envolvimento de empresas privadas nos dois

³¹⁰ Este é o caso do setor aeronáutico onde projetos de desenvolvimento já partem considerando a possibilidade de múltiplos usos, como civil e militar (ROSENBERG, 2006).

³¹¹ Por facilidade, repetimos aqui estas duas razões para a inadequação dos Grandes Projetos históricos aos grandes desafios atuais, apontadas na seção anterior a partir de Foray, Mowery e Nelson (2012): (ii) o usuário da tecnologia desenvolvida nos dois projetos era a própria agência que o financiou, mas os potenciais usuários das inovações agora necessárias seriam os mais variados e com pouca ou nenhuma participação direta no financiamento; (iv) O financiamento federal que suportou integralmente os dois programas no século XX deve ser complementado com muitas outras fontes, em particular, o financiamento privado será necessário, não só ao desenvolvimento, mas principalmente para a adoção em larga escala das tecnologias desenvolvidas.

³¹² (WRIGHT, 2012).

projetos históricos. A Chrysler, fabricante de automóveis, desenvolveu um método para folhear aço com níquel e efetivamente revestiu mais de vinte e cinco mil metros quadrados para fabricar os tanques da planta de difusão gasosa. Equipamentos para a planta eletromagnética foram produzidos pela General Electric, que passou a operar a produção de plutônio após a guerra, e pela Westinghouse, que posteriormente construiu várias usinas nucleares, incluindo Angra I no Brasil. A Alcoa, *Aluminum Company of America*, participou do desenvolvimento do encapsulamento em alumínio dos discos de urânio, a Monsanto, atualmente famosa pelos transgênicos, além de operar reator piloto após a guerra, concebeu, construiu e operou uma planta para separação de polônio, usado para fabricar os detonadores das bombas de urânio e plutônio.³¹³

Empresas privadas envolveram-se também em atividades do mais elevado nível organizacional e decisório. A Union Carbide, hoje subsidiária da *Dow Chemical*, contribuiu com as pesquisas das membranas separadoras e operou a gigantesca planta de difusão gasosa. A Eastman Kodak, citada em exemplo no primeiro capítulo, foi encarregada de operar o enriquecimento eletromagnético, intensivo em mão de obra. Em plena guerra, teve de recorrer à contratação e treinamento de milhares de colegiais recém-formadas para monitorar e controlar o delicado desempenho das máquinas, sem que elas soubessem o que estavam produzindo. Coube à Stone & Webster, recentemente incorporada à francesa Technip, projetar e construir os edifícios que abrigaram as plantas eletromagnéticas, bem como a cidade secreta de Oak Ridge. Depois disso, além de continuar projetando unidades petroquímicas, participou do projeto de muitas usinas nucleares. A Kellogg, posteriormente mesclada na gigante de engenharia petroquímica e de defesa KBR, construiu sua própria planta piloto para pesquisas em difusão gasosa e foi contratada para construir a planta final, o maior investimento de todo o projeto Manhattan. Finalmente a Dupont, que permanece como conglomerado transnacional independente, além de projetar, construir e operar os arriscados reatores de produção e as plantas de separação de plutônio, reviu os

³¹³ (REED, 2014), (WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC, 2016) e (ELETROBRÁS-ELETRONUCLEAR, 2016).

trabalhos de outros grupos e opinou sobre aspectos gerais do projeto desde seu nascimento.³¹⁴

O que nenhuma destas firmas jamais fez foi assumir riscos. Os contratos eram do tipo *cost plus*, isto é, cada contratada recebia reembolso integral de todas as suas despesas e mais uma comissão que correspondia a seu lucro. No contrato com a Carbide esta comissão foi de setenta e cinco mil dólares mensais, já a Eastman recebia vinte dois mil e quinhentos dólares por mês, mais um adicional em função do número de equipamentos operados. Ainda assim, por segurança, a maioria constituiu subsidiárias para separar estes contratos de suas atividades principais e, conforme o grau de responsabilidade, nem toda esta indulgência foi suficiente. Da Kellog não foi exigido nenhum compromisso de que fosse capaz de projetar, construir ou colocar uma planta em operação. Mesmo a comissão foi deixada em aberto até que os trabalhos avançassem bastante e foi finalmente definida em dois milhões e meio. Mais relutante ainda, a Dupont só concordou em receber, além das despesas, uma comissão fixa de um dólar e fez questão de que todas as patentes relacionadas ao plutônio ficassem com o governo. Em compensação, apesar do governo se comprometer a indenizar a Dupont por quaisquer perdas ou processos judiciais relacionadas às novas substâncias perigosas, a firma exigiu – e foi atendida – que o Estado estabelecesse um fundo de vinte milhões de dólares para cobrir tais eventualidades. Os contratos da NASA, inspirados e muitas vezes administrados pelo *DoD (Department of Defense)*, também eram em sua maioria do tipo *Cost Plus*, embora em pleno programa Apollo, por causa de estouros de orçamento e prazos em outros projetos, tenha ocorrido transição de comissão fixa para variável como forma de incentivo para firmas que executassem contratos rapidamente ou estimassem orçamentos com alguma precisão, sem nunca deixar, porém, de reembolsar integralmente os custos incorridos, mesmo que muito maiores que o previsto. Por exemplo, pelo Módulo Lunar, a Grumman recebeu, ao invés dos quase quatrocentos milhões orçados, mais de dois bilhões.³¹⁵

³¹⁴ (REED, 2014), (DUPONT, 2016), (GRANT, 2004), (KBR, 2016), (UNION CARBIDE CORPORATION, 2016) e (TECHNIP, 2016)

³¹⁵ (REED, 2014) e (LEVINE, 1979).

Até aí, nenhuma surpresa: os espíritos animais costumam ser bem domesticados, como sugere a capa e afirmam as páginas do livro de Mariana Mazzucato. Contrariando as aparências, foi o Estado o financiador e executor das etapas mais caras e arriscadas de muitos dos importantes desenvolvimentos tecnológicos que transformaram a economia mundial.³¹⁶ Porém, a má vontade privada em correr riscos não decorre da organização na forma de Grande Projeto, mas da incerteza intrínseca à Mudança Técnica, assunto da segunda seção do primeiro capítulo. Mas, ao contrário de outros instrumentos, através de um Grande Projeto, o Estado pode, assumindo o risco como de costume, determinar o rumo e o passo do desenvolvimento e em função destes definir quando e em que profundidade o setor privado se engajará no processo. Ao apagar do horizonte da empresa a possibilidade de perda econômica, é possível fazer com que ela se dedique a atividades das quais não se ocuparia de jeito algum, como a implantação em escala industrial de tecnologias incipientes, como ocorreu com a fabricação de circuitos integrados para os computadores do Projeto Apollo que chegaram a representar dois em cada três chips produzidos no mundo.³¹⁷ A posição privilegiada para identificar oportunidades de *spinoffs* comerciais e para aproveitar as relevantes economias de aprendizagem,³¹⁸ aonde a firma não chegaria em outro caso, permite o acúmulo de novas competências que podem ser essenciais ao surgimento de inovações em princípio não diretamente relacionadas às tecnologias trabalhadas. Este cenário é propício também à ocorrência de *spillover* à medida que trabalhadores desmobilizados ao fim do projeto migram para outras divisões da firma ou outras firmas.³¹⁹

³¹⁶ A capa do livro de Mazzucato (2013), que é abordado no primeiro capítulo, traz um gato doméstico observando um leão, para ilustrar a ideia chave do livro pela qual as empresas (gato) só se envolvem nas etapas menos arriscadas do processo inovativo depois que o Estado (leão) já se encarregou das mais incertas.

³¹⁷ Embora as estimativas variem e não haja consenso, Butrica (2015) afirma que mesmo que os números tenham sido mais modestos, afetaram a indústria a ponto de provocar a espetacular queda de preços dos chips observada no período.

³¹⁸ Além das várias formas diferentes de aprendizagem que as firmas estão expostas por sua participação no projeto, ocorre também o “aprender fazendo” (*learning by doing*) durante a fase de produção e instalação e o “aprender usando” quando a firma se encarrega da operação da planta. As muitas pequenas melhorias de eficiência energética, produtividade, custo de manutenção, qualidade de equipamento e processos, acumulam-se e podem transformar uma tecnologia, que antes não era, em economicamente viável. Para uma discussão detalhada destas formas de aprendizado e suas implicações econômicas, ver o capítulo 6, O Aprendizado pelo Uso de Rosenberg (2006).

³¹⁹ Na opinião de (Herbert (1983), o ápice da importância econômica de Grandes Projetos ocorre quando os profissionais envolvidos são relocados em outras funções.

Como diz o discurso que abre o capítulo, um Grande Projeto serve para organizar e medir o melhor de nossas energias e habilidades. Vendo pelo estreito ângulo da conceituação mais restrita que estabelecemos, a primeira razão para inadequação deste instrumento é a mais sem razão das quatro:³²⁰ é justamente o término definido que torna possível medir a efetividade dos esforços e liberar recursos, difundindo as competências adquiridas. Dividindo em prazos intermediários é possível monitorar o avanço e até abortar um projeto equivocadamente considerado viável, que do contrário poderia se prolongar excessivamente e, em economia como na guerra, tempo é essencial. De nada adiantaria nosso conhecido do primeiro capítulo, Rudolf Diesel, resolver os problemas de seu motor depois que a patente expirou, nem interessou aos soviéticos pisar na Lua depois que os norte-americanos o fizeram.

Assim como no caso de nossa objeção ao argumento de que a meta do Instrumento de Política não deve ser muito estreita,³²¹ defendemos que se o conhecimento do problema não permite estabelecer um prazo para sua solução, ainda que estimado e sujeito a revisões, então ainda não se configurou a oportunidade para tentar resolvê-lo via um Grande Projeto. Da mesma forma, a razão para inadequação que ainda não tratamos, a terceira, está intimamente relacionada à especificação do objetivo do Projeto. Se Apollo e Manhattan não enfrentaram concorrência foi porque os artefatos que almejavam produzir tinham pouco ou nenhum interesse comercial, mas isto é característica destas metas específicas e não do Grande Projeto em si, que poderia incorporar à definição de sua meta requisitos de custo e desempenho dos produtos finais, caso estes tivessem que competir com outros produtos, como ocorreu com a variedade de arroz IR-8. E mais: a capacidade de engajar empresas privadas já nas primeiras fases do desenvolvimento pode, graças às competências que lhes são próprias, melhorar a avaliação e atendimento aos referidos requisitos econômicos.

³²⁰ Por facilidade, repetimos aqui as duas razões para a inadequação dos Grandes Projetos históricos aos grandes desafios atuais, apontadas na seção anterior a partir de Foray, Mowery e Nelson (2012), que tratamos neste trecho: (i) neles, atingir a meta tecnológica específica significava o fim do programa, enquanto os problemas atuais, além de mais gerais, exigiam programas permanentes; (iii) A bomba atômica e as naves espaciais, ao contrário das novas tecnologias, não tiveram que concorrer com tecnologias existentes e apoiadas por interesses poderosos.

³²¹ O argumento de Mazzucato (2016) foi apresentado na seção anterior e nossa objeção na presente seção.

4 Porto de Chegada é Também de Partida

4.1 Aqui e Agora

Se pudemos com relativa facilidade apontar quando se apresentava ou não a oportunidade para um Grande Projeto foi somente porque olhávamos para trás. Já se quisermos, olhando para frente, desenhar um instrumento de Política Tecnológica na forma de um Grande Projeto, seria crítico o adequado estabelecimento de uma meta associada ao reconhecimento, dentre as circunstâncias atuais, de oportunidade para sua realização. Mas, ainda que possível, tal discernimento não se prestaria facilmente à sistematização. Em termos gerais pouco poderíamos dizer, a não ser que conhecimento relativamente profundo das tecnologias envolvidas e a análise de esforços similares, passados e alhures, são indispensáveis, bem como uma boa dose de talento e imaginação.

Entretanto, entretemos a ideia de que em países periféricos este tipo de oportunidade possa ser menos rara que em países centrais, uma vez que o atraso traria a vantagem de reduzir incertezas técnicas e econômicas. Se um artefato é produzido no exterior, então é técnica e economicamente viável. Assim, mesmo estando além dos objetivos deste trabalho, se abrirmos mão de qualquer pretensão à generalidade ou exaustão e miramos, por exemplo, um projeto imaginário para o setor elétrico brasileiro contemporâneo, poderemos, ainda que muito superficialmente, tecer algumas considerações sobre estes dois pontos problemáticos: estabelecimento adequado de meta e reconhecimento *ex ante* de oportunidade para realização de Grande Projeto.

Uma meta adequada deverá ser social e economicamente relevante, o que descartaria, por exemplo, a bomba atômica como objetivo desejável para o Brasil nos dias de hoje, já que esta não parece ser demanda de nenhum grupo social importante nem articularia grandes forças produtivas ou de geração de conhecimento a montante ou a jusante, para além de poucas instituições, firmas e do próprio cliente, circunscritos ao setor militar. Posição distinta poderia ser

defendida, ainda que não sem controvérsia, se a meta em questão for o domínio tecnológico da geração nuclear de energia elétrica. A demanda por energia elétrica deve ser crescente caso a população e o produto interno continuem a aumentar. Supondo, como parece razoável, que incrementar a geração hidrelétrica seja progressivamente mais complicado e que fontes “limpas” como eólica e fotovoltaica não deem conta de todo o crescimento da demanda, haveria espaço para a utilização de usinas atômicas como alternativa à queima de combustíveis fósseis para produção de eletricidade³²². A jusante, vários agentes, as companhias geradoras espalhadas pelo território nacional, ao operar as usinas envolver-se-iam nos processos de aprendizado pelo uso e pela manutenção dos sistemas, acumulando habilidades, conhecimentos e provavelmente ganhos de eficiência econômica deles decorrentes.

Já a montante, poderia ser mobilizada uma ampla e densa rede de agentes: instituições de pesquisa para as análises e concepções preliminares, firmas de engenharia e projeto, construtoras para as grandes obras civis, empreiteiras especializadas em montagem eletromecânica, fabricantes de bens de capital pesados (tanques, tubulações, trocadores de calor, turbinas), de equipamentos elétricos e de automação e controle. Eventualmente esta rede poderia englobar a produção do “combustível”, desde a mineração das reservas conhecidas, passando pelo processamento do minério, tratamento químico, enriquecimento e acondicionamento.

Além da relevância econômica, ainda que sobre desafios não tratados sobretudo em uma abordagem rasa como esta, não se pode rejeitar *a priori* a ideia de que as circunstâncias atuais configurem oportunidade para implantação de

³²² Em 2012, o Brasil aproveitava 37% do potencial hidrelétrico inventariado, mas com grande variação entre regiões. Enquanto na bacia do rio Paraná restariam apenas 25% de potencial inexplorado, na bacia do Rio Amazonas, 98% ainda estariam disponíveis (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002). Assim, a hidroeletricidade enfrenta hoje enormes dificuldades para sua expansão devido aos impactos socioambientais decorrentes, destacadamente interferência com área de proteção ambiental ou área de ocupação indígena ou de quilombolas. Em caso de projetos hidrelétricos de grande porte, pesa adicionalmente o financiamento dos elevados investimentos necessários para a viabilização dos empreendimentos. Outra importante dificuldade dos novos aproveitamentos hidrelétricos é sua grande distância dos grandes centros de consumo, o que resulta na necessidade de investimentos adicionais em linhas de transmissão para escoamento da produção de eletricidade. Embora os preços da energia eólica e solar venham caindo significativamente, ainda são mais elevados que os da geração hidrelétrica, sobretudo em grandes usinas (TOLMASQUIM, 2016).

projeto deste tipo. O desafio seria significativo, mas não tão afastado das possibilidades domésticas para que não se vislumbre uma ou mais trajetórias para sua superação. Empresas nacionais que se encarregaram da construção e montagem das usinas atualmente em operação eventualmente se interessariam em concorrer pelo contrato de projeto e construção de uma usina nuclear com tecnologia nacional, mesmo sem suporte de empresa estrangeira detentora da tecnologia, desde que o modelo de contratação as isentasse do risco tecnológico, como ocorreu nos EEUU nos casos anteriormente abordados. Da mesma forma, fabricantes de bens de capital domésticos poderiam desenvolver os equipamentos específicos necessários, com base em sua própria experiência e em transferências de conhecimento de empresas de engenharia ou instituições de pesquisa contratadas para este fim, se não tiverem que suportar o risco do desenvolvimento. As instituições de pesquisa e empresas públicas que já acumulam conhecimento sobre tecnologia nuclear, em particular sobre enriquecimento de urânio são candidatas naturais para esta etapa do projeto. Por se tratar de tecnologia madura teriam acesso ao conhecimento científico e tecnológico básico e, mesmo preservando segredos industriais, a mera observação de soluções efetivamente implementadas com tecnologia estrangeira traria indicações importantes sobre quais trajetórias são garantidamente viáveis. Serviços e componentes não estratégicos ou de risco tecnológico elevado poderiam ainda ser diretamente adquiridos no exterior.

O Projeto incorporando dinamicamente as preocupações sobre a competitividade do artefato final e de suas partes principais, como mencionado na seção anterior, teriam os agentes privados envolvidos incentivos adicionais proporcionados pela expectativa de vendas futuras, diretamente para os clientes finais - as empresas geradoras de energia no Brasil ou em países com necessidades semelhantes - usufruindo assim de economias de escala e aprendizado.

Muito mais problemático que delinear a meta ou advogar pela viabilidade da oportunidade seria defender o objetivo em si, isto é, demonstrar que os intrincados benefícios econômicos e sociais decorrentes de seu atingimento superariam não só seus custos, como também os benefícios de outros usos alternativos para os recursos investidos. Para não falar da necessariamente complexa articulação de apoio político para obter dotação financeira suficiente e por tempo bastante, além de recursos humanos competentes, capazes e isentos para

gerenciar e tomar as inúmeras decisões críticas: que empresas e instituições contratar, o que desenvolver ou adquirir no exterior, que parâmetros dinâmicos de competitividade estabelecer para os agentes, como garantir demanda inicial para os artefatos desenvolvidos.

Neste sentido se exigiria da burocracia responsável capacidades técnicas e gerenciais muito mais profundas que outros instrumentos de política industrial, como a exigência de conteúdo local, por exemplo. Por outro lado, o monitoramento dos resultados da política seria menos trabalhoso, já que a verificação dos objetivos principal e intermediário é intrínseca ao gerenciamento do projeto e não uma atividade adicional, posterior e laboriosa de controle, como a verificação de índices de nacionalização dos muitíssimos componentes de sistemas complexos. Permitiria também incentivar efetivamente a Inovação, escolhendo as tecnologias que seriam desenvolvidas e por quem, ao invés de mirar somente no local de fabricação, deixando para o contratado principal a decisão - meramente um *trade-off* entre custo, qualidade e procedência, dada a restrição do preço global já contratado – sem qualquer preocupação com a criação de Mudanças Técnicas socialmente desejáveis ou economicamente viáveis para além do projeto específico.

Raciocínio especulativo similar poderia ser desenvolvido para outras necessidades nacionais em setores diversos. Por exemplo, na área da saúde, certamente não faria sentido organizar um Grande Projeto nacional para enfrentar enfermidades que preocupam países centrais, como câncer, Alzheimer e cardíacas, mas talvez o caso seja diferente se imaginarmos um Grande Projeto para o combate a doenças tropicais como zika e dengue. Ainda mais porque este instrumento permitiria articular agentes no desenvolvimento das várias soluções necessárias: tratamento, imunização, combate ao vetor, entre outras. Mas, assim como na argumentação anterior nesta seção, ficaríamos devendo aprofundamento muito maior que, como dissemos, está além de nossos objetivos.

4.2 O Fim e Após

No primeiro capítulo visitamos algumas visões sobre Mudança Técnica para esboçar uma noção de inovação que exclui mudanças puramente

organizacionais ou de mercado, é centrada nas mutações de conhecimento que podem ou não se manifestar através de novos artefatos e inclui mudanças não sancionadas pelo mercado. Sugerimos também que o processo inovativo não é mera aplicação da Ciência e guarda autonomia da pesquisa científica, é cumulativo e por isso influenciado pelo passado, mas pode exibir descontinuidade, é evolutivo, intencional e condicionado economicamente, é essencialmente a busca de solução para problema, que pode se dar tecnicamente ou não. Depois exploramos as duas dimensões fundamentais da Mudança Técnica: não precisão (incerteza) que é radical em seus aspectos técnicos, econômicos e sociais, e precisão (necessidade) cuja sustentação absoluta, analítica ou quantitativa é deficiente, mas pode ser defendida em termos relativos e apreciativamente. Finalmente concluímos que a contradição entre estas duas dimensões implica na distribuição assimétrica de custos e benefícios da Mudança Técnica, de forma que usualmente alguém perde dinheiro no processo – normalmente quem se atreve a se ocupar das etapas mais importantes e arriscadas.

Um Grande Projeto, enquanto instrumento de política tecnológica, não é capaz, logicamente, de eliminar esta perda econômica. Mesmo se considerarmos válidos os problemáticos argumentos sobre *spinoffs* e *spillovers* ou nossa proposição de que a utilidade da meta deve ser suficiente para justificar o projeto, apresentados no terceiro capítulo, isto significaria apenas que os benefícios sociais totais superam os custos e não que o financiador do projeto, frequentemente o Estado, tenha algum lucro ou seja ao menos ressarcido pelo investimento - a não ser que o sistema tributário deliberadamente incorpore tal prática.³²³ Mas, um Grande Projeto pode ao menos circunscrever o volume e a duração da perda sofrida em troca de compensação social previsível, se bem-sucedido.

No segundo capítulo conformamos onze perspectivas teóricas sobre Políticas Tecnológicas e Industrias em sete instâncias de um modelo analítico que encadeia Teoria, Mecanismo, Diagnóstico e Política. Por este prisma retratamos quatro matizes da visão *mainstream*: neoclássico básico, mercado inovador, falhas de mercado e GIF; e sete abordagens alternativas: Estruturalista (Cepal), Chang/Reinert, Mark I, Mark II, Redes (que inclui Sistemas Nacionais de Inovação),

³²³ Como propõe Mazzucato (2013).

Evolucionária e a que chamamos de Estatal. Da tentativa de comparação entre elas concluímos que todas parecem se preocupar principalmente com as condições necessárias para o surgimento da Mudança Técnica, procedendo mais ou menos como a lei de Say que assume que toda oferta gera sua própria demanda, o que não seria problema para uma nação central que usa e abusa dos instrumentos disponíveis para manter-se na vanguarda em várias fronteiras tecnológicas simultaneamente, mas pode trazer dificuldades para as que aspirem inovar mas não dispõem dos mesmos recursos.

Neste cenário Grandes Projetos podem atuar na outra ponta, além de coordenar as iniciativas de forma coerente com vistas a desenvolver inovações socialmente desejáveis em períodos determinados, gerar demanda, como fizeram, em setores estratégicos como microeletrônico e aeroespacial e até ajudar a complementar as mencionadas condições necessárias, difundindo conhecimentos básicos e aplicados.³²⁴ Não serão, entretanto, capazes de criar todas estas condições, como no caso do Projeto Manhattan cuja oportunidade de lançamento só se configurou quando o conhecimento científico sobre fissão atômica avançou suficientemente, graças a outros instrumentos de política menos direcionais e mais apropriados a investigações exploratórias.

Por isso, o último capítulo se dedica, por meio de rasa revisão dos Projetos Apollo e Manhattan, bem como de iniciativas Orientadas a Missão mais recentes, a discutir em que circunstâncias se configuraria oportunidade para aplicação de instrumento de política tecnológica na forma de Grande Projeto. Argumentando que o que entendemos por Grande Projeto é normalmente distinto e mais específico que as políticas Orientadas a Missão da literatura econômica, concluímos que os defeitos às vezes apontados naquele instrumento não são consequência de suas características intrínsecas, mas da má especificação do problema ou do nível de conhecimento insuficiente para configurar oportunidade para constituição de um Grande Projeto. Contestamos um a um os defeitos ou

³²⁴ Notamos ao menos um exemplo em que a Educação, possivelmente a mais consensual condição necessária para criação e difusão da Mudança Técnica em um grupo social, foi puxada por Grandes Projetos. Admitindo que as iniciativas militares e espaciais impulsionaram o desenvolvimento de semicondutores, encontramos William Shockley, inventor do transistor de ponto de contato, ministrando cursos de física do estado sólido no *Bell Labs* para professores de trinta universidades norte-americanas para viabilizar a criação de cursos da disciplina (ROSENBERG, 2006, p. 235).

inadequações que foram levantadas por autores que pretendiam avaliar a serventia dos projetos históricos como modelos para combater grandes desafios atuais, como aquecimento global e explosão demográfica. Sem tentar refutar suas impecáveis conclusões, apenas argumentamos que as razões apontadas estão mais relacionadas à escolha do problema do que à ferramenta em si.

Já as proposições para consertar a ferramenta, em particular a de ater-se a metas menos específicas, a nosso juízo a desfigurariam, transformando-a em outra coisa que não um Grande Projeto. Talvez a estreiteza de propósito não convenha a um país rico que esteja tateando a fronteira tecnológica,³²⁵ pois nesta região a ignorância é tanta que nenhum vento será favorável, a não ser em raros casos quando avanços científicos e tecnológicos se acumulam até culminar na oportunidade para realização de um Grande Projeto e há discernimento para reconhecê-la. Senão, provavelmente seria mais fácil encontrar outros exemplos famosos para esmiuçar além dos dois costumeiros. Mas, do ponto de vista dos países periféricos este tipo de oportunidade pode ser mais frequente.

O atraso tem a vantagem de reduzir incertezas técnicas e econômicas já que se determinado artefato é produzido no exterior, então é tecnicamente viável e seu preço e características de desempenho divulgadas, facilitando reconhecimento da oportunidade para um Grande Projeto e definição de meta que incorpore requisitos de qualidade e custo. Organização deste tipo, centralizada, é capaz de elencar e planejar as atividades interdependentes necessárias ao cumprimento do desafio escolhido e, como nos exemplos históricos, selecionar as empresas domésticas capacitadas ou capacitáveis para executá-las. Mas, ao contrário de quem está na vanguarda, teria a opção de contratar no exterior parte destas atividades, transferências de tecnologia para capacitar as firmas contratadas ou instituições de pesquisa para desenvolver localmente as peças de conhecimento sensíveis ou estratégicas.

Um Grande Projeto cuja meta atenda interesses econômicos e sociais mais amplos deve tratar de questões que, conforme dissemos, não preocupavam os projetos históricos, como demanda, competição, produtos complementares, oferta de

³²⁵ (CIMOLI; DOSI; STIGLITZ, 2009, p. 28) e em linha com o que foi argumentado na seção sobre o modelo evolucionário.

serviços de manutenção, infraestrutura, aprendizado e aceitação pelos usuários. Mas, se for patrocinado por país populoso como o Brasil, teria a seu alcance ações capazes de tratar de cada uma delas. Por exemplo, como feito no Projeto Manhattan e no Programa Apollo, podem sustentar através de encomendas a demanda inicial de novos produtos, permitindo que fabricantes amortizem o investimento em desenvolvimento e amadureçam economias de escala e aprendizado de forma a estarem aptos a competir globalmente quando o Projeto terminar. A definição do escopo deve abarcar fornecedores de produtos complementares e de serviços de manutenção, bem como a disponibilização da infraestrutura e os esforços de divulgação e treinamento pertinentes.³²⁶

É certo que não é trivial amealhar recursos e apoio político para manter financiamento estável e duradouro para um Grande Projeto em nações com muitas carências e urgências, sobretudo em tempos de fundamentalismo econômico, nem arregimentar funcionários capazes, motivados, isentos e com discernimento suficiente para reconhecer oportunidades e tomar decisões críticas sobre que empresas e instituições contratar, bem como para fiscalizar prazos e custos e dinamicamente fazer os ajustes necessários. Porém, se há a resolução de investir em inovação tecnológica, fazê-lo via Grande Projeto pode ser uma forma de mitigar riscos por meio das decisões e ações citadas. Em todo caso, o número de funcionários extraordinariamente talentosos requerido seria muito menor do que se o Estado, ao invés de especificar e verificar, tentasse desenvolver tecnologia diretamente, afinal os relativamente poucos empregados da NASA conseguiram gerenciar os quatrocentos mil engenheiros e técnicos que levaram o homem à Lua.

Visitando o cassino novamente, é como se nosso desprovido personagem resistisse à roleta de Keynes, preferindo o campeonato de pôquer. Mas não sem antes estudar o jogo e os adversários, estabelecendo uma estratégia com etapas e pontos de verificação. Calculando com antecedência os prêmios possíveis, saberia previamente se seus poucos recursos bastam, em que tipo de mãos apostar e, não menos importante, a hora de ir para casa.

³²⁶ Articulando assim a lógica sistêmica, a exemplo do que propõe Gadelha (2016) em menção aos setores de transporte e saúde.

A melhor maneira de verificar empiricamente a proposição de que oportunidades para realização de Grandes Projetos se apresentam com frequência para países periféricos e que este Instrumento de Política Tecnológica seria eficaz para nações que almejam incrementar a criação doméstica de inovações com impacto econômico seria efetivamente buscar tais oportunidades e participar de sua implantação, como sugerido na seção anterior, avaliando seus impactos econômicos e na produção de Mudança Técnica. Obviamente tamanha influência não se encontra entre as possibilidades de um pesquisador acadêmico ordinário, mas, alternativamente este poderia procurar iniciativas já implementadas ou em andamento que se encaixem na classificação de Grande Projeto segundo as características apresentadas ou, na falta destas, escolher as que mais se assemelham. Em qualquer caso, caberia analisar se as diferenças em relação ao modelo de Grande Projeto esboçado são desvantagens ou se o modelo deve ser aprimorado. Nem é preciso olhar longe para enxergar candidatos. O Pró-Álcool, o cargueiro militar KC-390 da Embraer, a exploração de petróleo do Pré-Sal, parecem conter ao menos alguns elementos de um Grande Projeto. Certamente mundo afora haverá muitos outros exemplos, mas empreitada deste porte não cabe neste trabalho que chega a seu fim, ficando como proposição de agenda para estudos futuros.

5 Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002.
- AGHION, P.; DAVID, P. A.; FORAY, D. Science, technology and innovation for economic growth: Linking policy research and practice in “STIG Systems”. **Research Policy**, v. 38, n. 4, p. 681–693, 2009.
- ALMEIDA, M. **Desafios da real política industrial brasileira do século XXI**. Texto para Discussão n. 1452. IPEA. Dezembro de 2009.
- AMSDEN, A. H. Nationality of Firm Ownership in Developing Countries: Who Should “Crowd Out” Whom in Imperfect Markets? In: CIMOLI, M.; DOSI, G.; STIGLITZ, J. E. (Eds.) **Industrial policy and development: the political economy of capabilities accumulation**. New York: Oxford University Press, 2009.
- ANADÓN, L. D. Missions-oriented RD&D institutions in energy between 2000 and 2010: A comparative analysis of China, the United Kingdom, and the United States. **Research Policy**, v. 41, n. 10, p. 1742–1756, 2012.
- ARROW, K. J. The organization of economic activity: issues pertinent to the choice of market versus nonmarket allocation. **The Analysis and Evaluation of Public Expenditure The PPBS System**, v. 1, p. 59–73, 1969.
- ARTHUR, W. B. Positive Feedbacks in the Economy. **Scientific American**, v. 262, n. 1, p. 92–99, 1990.
- ATOMIC HERITAGE FOUNDATION. **Atomic Heritage**. Disponível em: <<http://www.atomicheritage.org/>>. Acesso em: 13 dez. 2016.
- BAINBRIDGE, W. S. Societal Impact of Spaceflight of NASA On Medical Technology. In: DICK, S. J. (Ed.). **Historical Studies in the Societal Impact of Spaceflight**. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 2015.
- BAPTISTA, M. A. C. **Política industrial: uma interpretação heterodoxa**. Campinas, 2000. Tese (Doutorado em Economia). Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas.
- BASALLA, G. **The evolution of technology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

BAUMOL, W. **The free-market innovation machine: analyzing the growth miracle of capitalism**. Princeton: Princeton University Press, 2002.

BAUMOL, W. J.; LITAN, R. E.; SCHRAMM, C. J. **Good Capitalism, Bad Capitalism, and the Economics of Growth and Prosperity**. New Haven: Yale University Press, 2007.

BIJKER, W. E.; HUGHES, T. P.; PINCH, T. **The Social Construction of Technological Systems**. Cambridge: The MIT Press, 1989.

BLEDA, M.; DEL RÍO, P. The market failure and the systemic failure rationales in technological innovation systems. **Research Policy**, v. 42, n. 5, p. 1039–1052, 2013.

BLOCK, F. Swimming Against the Current: The Rise of a Hidden Developmental State in the United States. **Politics & Society**, v. 36, n. 2, p. 169–206, 2008.

BLOCK, F. Innovation and the Invisible Hand of Government. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. 1. ed. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 1–26.

BLOCK, F.; KELLER, M. R. **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011.

BLOCK, F.; KELLER, M. R. Where Do Innovations Come From? Transformations in the U.S. Economy, 1970-2006. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 154–172.

BRINKLEY, I. **Defining the knowledge economy**. Knowledge economy programme report. London: The Work Foundation. Julho de 2006.

BROWN, M. A.; WILSON, C. R. R&D spinoffs: Serendipity vs. a managed process. **The Journal of Technology Transfer**, v. 18, n. 3–4, p. 5–15, 1993.

BUSH, V. **Science The Endless Frontier**. Disponível em: <<https://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>>. Acesso em: 24 fev. 2015.

BUTRICA, A. J. NASA's Role in the Manufacture of Integrated Circuits. In: DICK, S. J. (Ed.). **Historical Studies in the Societal Impact of Spaceflight**. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 2015.

CANTNER, U.; PYKA, A. Classifying technology policy from an evolutionary perspective. **Research Policy**, v. 30, n. 5, p. 759–775, 2001.

CARROLL, L. **Alice's Adventures in Wonderland**. New York: The Macmillan Company, 1898.

CASTALDI, C. et al. Technological Learning, Policy Regimes, and Growth: The Long Term Patterns and Some Specificities of a “Globalized” Economy. In: CIMOLI, M.; DOSI, G.; STIGLITZ, J. E. (Eds.). **Industrial policy and development : the political economy of capabilities accumulation**. New York: Oxford University Press, 2009.

CASTRO, A. B. A Rica Fauna da Política Industrial e a sua Nova Fronteira. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 1, n. 2, p. 253–274, 2002.

CASTRO, A. B. DE; SOUZA, F. E. P. **A Economia Brasileira em Marcha Forçada**. Rio De Janeiro: Paz e Terra, 1985.

CHANDLER, A. **Scale and scope the dynamics of industrial capitalism**. Cambridge, Mass: Belknap Press of Harvard University Press, 1994.

CHANG, H.-J. **Kicking Away the Ladder : The “ Real ” History of Free Trade**. FPIF Special Report. Foreign Policy in Focus. Dezembro de 2003.

CIMOLI, M.; DOSI, G.; STIGLITZ, J. E. The Political Economy of Capabilities Accumulation: The Past and Future of Policies for Industrial Development. In: CIMOLI, M.; DOSI, G.; STIGLITZ, J. E. (Eds.). **Industrial policy and development : the political economy of capabilities accumulation**. New York: Oxford University Press, 2009.

CLARK, G.; FEENSTRA, R. C. Technology in the Great Divergence. In: BRODO, M. D.; TAYLOR, A. M.; WILLIAMSON, J. G. (Eds.). **Globalization in historical perspective**. Chicago: Univ. of Chicago, 2003.

CONSTANT, E. **The origins of the turbojet revolution**. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1980.

COURTNEY G BROOKS, JAMES M. GRIMWOOD, L. S. S. **Chariots for Apollo: A History of Manned Lunar Spacecraft**. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 1979.

DAVID, P. A. Clio and the Economics of QWERTY. **American Economic Review**, v. 75, n. 2, p. 332–337, 1985.

DICK, S. J. (ED.). **Historical Studies in the Societal Impact of Spaceflight**. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 2015.

DICK, S. J.; LAUNIUS, R. D. (ED). **Societal Impact of Spaceflight**. Washington: National Aeronautics and Space Administration, 2007.

DODGSON, M. et al. Systems thinking, market failure, and the development of innovation policy: The case of Australia. **Research Policy**, v. 40, n. 9, p. 1145–1156, 2011.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. **Research Policy**, v. 11, n. 3, p. 147–162, jun. 1982.

DUPONT. **Dupont Web Site**. Disponível em: <<http://www.dupont.com/>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

ELETROBRÁS-ELETRONUCLEAR. **Angra 1**. Disponível em: <<http://www.eletronuclear.gov.br/aempresa/centralnuclear/angra1.aspx>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

ERBER, F. S.; CASSIOLATO, J. E. Política industrial: teoria e prática no Brasil e na OCDE. **Revista de Economia Política**, v. 17, n. 2, p. 29, 1997.

FAGERBERG, J. Innovation: A Guide to the Literature. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D.; NELSON, R. R. (Eds.). **The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 1–27.

FENSTER, J. M. **Inventing the Telephone — And Triggering All-Out Patent War**. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20060311000120/http://www.americanheritage.com/events/articles/web/20060307-alexander-graham-bell-telephone-patent-telegraph-elisha-gray-thomas-watson-gardiner-hubbard-western-union-thomas-edison.shtml>>. Acesso em: 1 jul. 2015.

FLANAGAN, K.; UYARRA, E.; LARANJA, M. Reconceptualising the “policy mix” for innovation. **Research Policy**, v. 40, n. 5, p. 702–713, 2011.

FORAY, D.; MOWERY, D. C.; NELSON, R. R. Public R&D and social challenges: What lessons from mission R&D programs? **Research Policy**, v. 41, n. 10, p. 1697–1702, 2012.

FORTUNATO, P.; RAZO, C. Export sophistication, growth and the middle-income trap. In: XIRINACHS-SALAZAR, J. M.; NÜBLER, I.; KOZUL-WRIGHT, R. (Eds.). **Transforming economies: Making industrial policy work for growth, jobs and development**. Geneva: International Labour Office, 2014. p. 267–287.

FREEMAN, C. The National System of Innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v. 19, n. March 1993, p. 5–24, 1995.

FRITSCH, W.; MODIANO, E. M. A restrição externa ao crescimento econômico brasileiro: uma perspectiva de longo prazo. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 18, n. 2, p. 30, 1988.

GADELHA, C. A. G. Política Industrial, desenvolvimento e os grandes desafios nacionais. In: LASTRES, H. M. M. et al. (Eds.). **O futuro do desenvolvimento: ensaios em homenagem a Luciano Coutinho**. Campinas: Unicamp, 2016. p. 215–251.

GALLAGHER, R. How the Apollo program produced economic wealth. **Executive Intelligence Review**, v. 14, n. 21, p. 24–29, 1987.

GISLER, M.; SORNETTE, D. Exuberant innovations: The Apollo program. **Society**, v. 46, n. 1, p. 55–68, 2009.

GORDON, R. J. **Future U.S. Economic Growth: Can Innovation Save Us from the Headwinds?** In: Rimrock 2014 Global Economic Summit. Laguna Beach, CA:, 2014.

GRABOWIECKI, J. **Keiretsu Groups: Their Role in the Japanese Economy and a Reference Point (or a Paradigm) for Other Countries**: Visiting.Research.Fellow Series n. 413. Chiba: Institute of Developing Economies, Japan External Trade Organization. Março de 2006.

GRANT, T. **International Directory of Company Histories**. Streamwood, IL: St. James Press, 2004.

HARGADON, A. **How breakthroughs happen : the surprising truth about how companies innovate**. Boston: Harvard Business School Press, 2003.

HARTWELL, R. Markets, Technology and the Structure of Enterprise in the Development of the Eleventh Century Chinese Iron and Steel Industry. **Journal of Economic History**, v. 26, n. 1, p. 29–58, 1966.

HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A. The network structure of economic output. **Journal of Economic Growth**, v. 16, n. 4, p. 309–342, 2011.

HERBERT, E. Apollo: the driver and the driven. **IEEE spectrum**, September, p. 56–58, 1983.

HEYMANN, M. Signs of hubris: the shaping of wind technology styles in Germany, Denmark, and the United States, 1940-1990. **Technology and Culture**, v. 39, n. 4, 1998.

HIRATUKA, C.; SARTI, F. **Transformações na estrutura produtiva global , desindustrialização e desenvolvimento industrial no Brasil : uma contribuição ao debate**. Texto para discussão n. 255. IE/Unicamp. Junho de 2015.

HUGHES, T. P. **Networks of Power: Electrification in Western Society**. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press, 1983.

HURT, S. L. The Military's Hidden Hand: Examining the Dual-Use Origins of Biotechnology in the American Context, 1969- 1972. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. 1. ed. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 31–56.

JONES, C. I. **Introdução à Teoria do Desenvolvimento Econômico**. 3. ed. Rio De Janeiro: Campus, 2000.

KBR. **History of KBR**. Disponível em: <<https://www.kbr.com/About/our-company/history>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

KELLER, M. R. The CIA's Pioneering Role in Public Venture Capital Initiatives. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 109–132.

KEYES, R. **The quote verifier : who said what, where, and when**. New York: St. Martin's Press, 2006.

KEYNES, J. M. **The End of Laissez Faire**. London: Hogarth Press, 1926.

KEYNES, J. M. The General Theory of Employment. **The Quarterly Journal of Economics**, p. 209–223, 1937.

KIM, J.-I.; LAU, L. J. The Sources of economic Growth of the East Asian Newly Industrialized Countries. **Journal of Japanese and International Economies**, v. 8, p. 235–271, 1994.

KNIGHT, F. H. **Risk, uncertainty and profit**. New York: Augustus M. Kelley, 1921.

KOCHHAR, K. et al. **INDIA'S PATTERN OF DEVELOPMENT: WHAT HAPPENED, WHAT FOLLOWS**. Working Paper n.12023. National bureau of economic research. Fevereiro de 2006.

KUHN, T. S. **The structure of scientific revolutions**. 3rd. ed. Chicago: Univ. of Chicago, 1996.

LARANJA, M.; UYARRA, E.; FLANAGAN, K. Policies for science, technology and innovation: Translating rationales into regional policies in a multi-level setting. **Research Policy**, v. 37, n. 5, p. 823–835, 2008.

LAW, J. Technology and Heterogeneous Engineering: The Case of Portuguese Expansion. In: BIJKER, W. E.; HUGHES, T. P.; PINCH, T. (Eds.). **The Social Construction of Technological Systems**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1989.

LAZONICK, W.; HOPKINS, M. **There Went the Sun : Renewable Energy Needs Patient Capital**. Disponível em: <http://www.huffingtonpost.com/william-lazonick/there-went-the-sun-renewa_b_978572.html>. Acesso em: 1 jul. 2015.

LAZONICK, W.; MAZZUCATO, M. The risk-reward nexus in the innovation-inequality relationship: who takes the risks? Who gets the rewards? **Industrial and Corporate Change**, v. 22, n. 4, p. 1093–1128, 2013.

LEVINE, A. **Managing NASA in the Apollo Era**. Disponível em: <<http://history.nasa.gov/SP-4102/contents.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

LIN, J. Y.; CHANG, H.-J. Should Industrial Policy in Developing Countries Conform to Comparative Advantage or Defy it? A Debate Between Justin Lin and Ha-Joon Chang. **Development Policy Review**, v. 27, n. 5, p. 483–502, 2009.

LIN, J. Y.; TREICHEL, V. Making industrial policy work for development. In: XIRINACHS-SALAZAR, J. M.; NÜBLER, I.; KOZUL-WRIGHT, R. (Eds.). **Transforming economies: Making industrial policy work for growth, jobs and development**. Geneva: International Labour Office, 2014. p. 65–78.

LIST, F. **The National System of Political Economy**. London: Longmans, Green and Co., 1841.

LOHR, S. **Apple-Samsung Patent Battle Shifts to Trial**. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/2012/07/30/technology/apple-samsung-trial-highlights-patent-wars.html>>. Acesso em: 1 jul. 2015.

LUCAS, H. C.; GOH, J. M. Disruptive technology: How Kodak missed the digital photography revolution. **Journal of Strategic Information Systems**, v. 18, n. 1, p. 46–55, 2009.

LUZ, M. R. S.; FRACALANZA, P. S. Darwinismo Universal e economia evolucionária : recurso ontológico ou mais uma analogia ? **Ensaio FEE**, v. 32, n. 1, p. 31–50, 2011.

LYNDON B. JOHNSON SPACE CENTER. **Apollo Program Summary Report**. Disponível em: <<http://history.nasa.gov/apsr/apsr.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

MADDISON, A. **Monitoring the World Economy 1820 -1992**. Paris: Development Centre of OCDE, 1995.

MADDISON, A. **Growth and interaction in the world economy**. Washington: AEI Press, 2005.

MAIO, M. Industrial Policies in Developing Countries: History and Perspectives. In: CIMOLI, M.; DOSI, G.; STIGLITZ, J. E. (Eds.). **Industrial policy and development : the political economy of capabilities accumulation**. New York: Oxford University Press, 2009.

MARX, K. **The Poverty of Philosophy**. Paris: Progress Publishers, 1955.

MARX, K. **Capital - A Critique of Political Economy - Volume III**. New York: International Publishers, 1959.

MARX, K. **O Capital - Crítica da Economia Política**. São Paulo: Nova Cultural, 1996.

MAZLISH, B. The fourth discontinuity. **Technology and Culture**, p. 1–15, 1967.

MAZZUCATO, M. **The entrepreneurial state : debunking public vs. private sector myths**. New York: Anthem, 2013.

MAZZUCATO, M. From market fixing to market-creating: a new framework for innovation policy. **Industry and Innovation**, v. 23, n. 2, p. 140–156, 2016.

MAZZUCATO, M.; PENNA, C. C. R. **Mission-oriented finance for innovation**. London: Rowman & Littlefield International, Ltd., 2015.

MÉDA, D. **La Mystique de la croissance - Comment s'en libérer**. Paris: Flammarion, 2013.

MOREAU, F. The role of the state in evolutionary economics. **Cambridge Journal of Economics**, v. 28, n. 6, p. 847–874, 2004.

MOWERY, D. C. Plus ça change: Industrial R&D in the “third industrial revolution”. **Industrial and Corporate Change**, v. 18, n. 1, p. 1–50, 2009.

MOWERY, D. C. Federal Policy and the Development of Semiconductors, Computer Hardware, and Computer Software: A Policy Model for Climate Change R&D? In: HENDERSON, R. M.; NEWELL, R. G. (Eds.). **Accelerating Energy Innovation: Insights from Multiple Sectors**. Chicago: University of Chicago Press, 2011. p. 159–188.

MOWERY, D. C. Defense-related R&D as a model for “grand Challenges” technology policies. **Research Policy**, v. 41, n. 10, p. 1703–1715, 2012.

MURRAY, F. et al. Grand Innovation Prizes: A theoretical, normative, and empirical evaluation. **Research Policy**, v. 41, n. 10, p. 1779–1792, 2012.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Project Apollo: A Retrospective Analysis**. Disponível em: <<http://history.nasa.gov/Apollomon/Apollo.html>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA Spinoff Database**. Disponível em: <<https://spinoff.nasa.gov/database/>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

NEGOITA, M. To Hide or Not to Hide? The Advanced Technology Program and the Future of U.S. Civilian Technology Policy. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 77–95.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. In search of useful theory of innovation. **Research Policy**, v. 6, n. 1, p. 36–76, jan. 1977.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Harvard: Belknap Press of Harvard University, 1982.

NEWS.COM.AU. **Tech-savvy kids can't push a pencil**. Disponível em: <<http://www.news.com.au/technology/tech-savvy-kids-cant-push-a-pencil/story-e6frfro0-1226634952869>>. Acesso em: 27 out. 2014.

OCAMPO, J. A. Latin American structuralism and production development strategies. In: XIRINACHS-SALAZAR, J. M.; NÜBLER, I.; KOZUL-WRIGHT, R. (Eds.). **Transforming economies: Making industrial policy work for growth, jobs and development**. Geneva: International Labour Office, 2014. p. 41–63.

OGBURN, W. F. The Sociology of Invention. by S. Colum Gilfillan; Inventing the Ship. by S. Colum Gilfillan. **American Journal of Sociology**, v. 42, n. 1, p. 126–129, 1936.

OLSON, P. **The Rags-To- Riches Tale Of How Jan Koum Built WhatsApp Into Facebook New \$ 19 Billion Baby**. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/parmyolson/2014/02/19/exclusive-inside-story-how-jan-koum-built-whatsapp-into-facebooks-new-19-billion-baby/>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

PARAYIL, G. **Conceptualizing technological change: Theoretical and empirical explorations**. Lanham, MD: Rowman & Littlefield, 1999.

PAUWELS, L.; BERGIER, J. **O despertar dos magicos: introdução ao realismo fantástico**. 13a. ed. Rio de Janeiro, RJ; São Paulo, SP: DIFEL, 1977.

PENROSE, E. T. Biological Analogies in the Theory of the Firm. **The American Economic Review**, v. 42, n. 5, p. 804–819, 1952.

PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. **Cambridge Journal of Economics**, v. 34, n. 1, p. 185–202, 2009.

PESSOA, F.; SOARES, B. **Livro do Desassossego**. 3a. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2011.

POSSAS, M. S. **Concorrencia e competitividade: notas sobre estrategia e dinamica seletiva na economia capitalista**. Campinas, 1993. Tese (Doutorado em Economia). Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas.

REED, B. C. **The History and Science of the Manhattan Project**. Heidelberg: Springer, 2014.

REINERT, E. S. Emulation versus Comparative Advantage: Competing and Complementary Principles in the History of Economic Policy. In: CIMOLI, M.; DOSI, G.; STIGLITZ, J. E. (Eds.). **Industrial policy and development: the political economy of capabilities accumulation**. New York: Oxford University Press, 2009.

REINERT, E. S.; DAASTOL, A. M. Exploring the Genesis of Economic Innovations: The Religious Gestalt-Switch and the Duty to Invent as Preconditions for Economic Growth. **European Journal of Law and Economics**, v. 4, n. 2, p. 233–283, 1997.

RIAIN, S. Ó. From Developmental Network State to Market Managerialism in Ireland. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 196–216.

ROBINSON, J. The Production Function and the Theory of Capital. **The Review of Economic Studies**, v. 21, n. 2, p. 81–106, 1953.

ROBINSON, J. Capital Theory up to Date: A Reply. **Canadian Journal of Economics**, v. 4, n. 2, p. 254–256, 1971.

ROSENBERG, N. **Por Dentro da Caixa Preta**. Campinas: Editora Unicamp, 2006.

RUEGG, R.; THOMAS, P. **Linkages from DOE's Wind Energy Program R&D to Commercial Renewable Power Generation**. Report for U.S. Department of Energy - Energy Efficiency & Renewable Energy Office. Albuquerque, New Mexico: Sandia National Laboratories. Setembro de 2009.

RUTTAN, V. W. Is War Necessary for Economic Growth? **Historically Speaking**, v. 7, n. 6, p. 17–19, 2006.

SAKADE, T. Trapped in a Loveless Marriage : The Anglo – French Concorde Crisis of 1974. **Kioto Economic Review**, v. 80, n. 2, p. 134–147, 2011.

SAMPAT, B. N. Mission-oriented biomedical research at the NIH. **Research Policy**, v. 41, n. 10, p. 1729–1741, 2012.

SAMUELSON, P. **Economia**. Lisboa: McGraw-Hill, 1999.

SAMUELSON, P. A. International Trade and the Equalisation of Factor Prices. **The Economic Journal**, v. 58, n. 230, p. 163–184, 1948.

SAY, J.-B. **A Treatise on Political Economy**. Kitchener, Canadá: Batoche Books, 1855.

SBA. **Small Business Innovation (SBIR) Program Policy Directive**. Disponível em: <<https://www.sba.gov/>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalism, socialism and democracy**. London: Routledge, 1994.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1997.

SHAIKH, A. Laws of Production and Laws of Algebra: The Humbug Production Function. **The review of Economics and Statistics**, v. 56, n. 1, p. 115–120, 1974.

SHAW, W. H. “ The Handmill Gives You the Feudal Lord”: Marx’s Technological Determinism. **History and Theory**, v. 18, n. 2, p. 155–176, 1979.

SILVA, A. L. G. DA. **Concorrência sob condições oligopolísticas : contribuição das análises centradas no grau de atomização/concentração dos mercados**. Campinas, 2003. Tese (Doutorado em Economia). Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas.

ŠLEDZIK, K. Schumpeter’ S View on Innovation and Entrepreneurship. In: HITTMAR, S. (Ed.). **Management Trends in Theory and Practice**. Zilina: University of Zilina & Institute of Management by University of Zilina, 2013. p. 89–95.

SMITH, A. **A riqueza das nações : investigação sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Nova Cultural, 1996.

SOBEL, D. **Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time**. London: Walker & Company, 1995.

SOLOW, R. M. The Production function and the Theory of Capital. **The Review of Economic Studies**, v. 23, n. 2, p. 101–108, 1955.

SOLOW, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. **Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65–94, 1956.

SOLOW, R. M. Technical change and the aggregate production function. **The review of Economics and Statistics**, v. 39, n. 3, p. 312–320, 1957.

STEINBECK, J. **East of Eden**. New York: Penguin Books, 1986.

STINE, D. D. **The Manhattan Project, the Apollo Program, and Federal Energy Technology R&D Programs: A Comparative Analysis**. Report for U.S. Congress. Washington: Congressional Research Service. Junho de 2009.

STOKES, D. E. **O quadrante de Pasteur**. 1. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2005.

SWEEZY, P. M. Professor Schumpeter Theory of Innovation. **The review of Economics and Statistics**, v. 25, n. 1, p. 93–96, 1943.

TECHNIP. **History of Technip**. Disponível em: <<http://www.technip.com/en/about-us/company-profile/history>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável - Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio De Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016.

TUNZELMANN, G. N. **Technology and Industrial Progress: the foundations of economic growth**. Aldershot: Edward Elgar, 1995.

UNION CARBIDE CORPORATION. **History of Union Carbide**. Disponível em: <<http://www.unioncarbide.com/History>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

USHER, A. P. **A History of Mechanical Inventions**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1929.

UTTERBACK, J. M.; ABERNATHY, W. A Dynamic Model of Process and Product Innovation. **Omega, The int. JI of Mgmt Sci.**, v. 3, n. 6, p. 639–656, 1975.

VALLAS, S. P.; KLEINMAN, D. L.; BISCOTTI, D. Political Structures and the Making of U.S. Biotechnology. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. 1. ed. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 57–76.

VERSPAGEN, B. Innovation And Economic Growth. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D.; NELSON, R. (Eds.) **The Oxford Handbook of Innovation**. Oxford: Oxford University Press, 2006. p. 487–513.

VINCENTI, W. Technological knowledge without science: The innovation of flush riveting in American airplanes, ca. 1930-ca. 1950. **Technology and Culture**, v. 25, n. 3, p. 540–576, 1984.

WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC. **Westinghouse Nuclear**. Disponível em: <<http://www.westinghousenuclear.com/>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

WHITFORD, J.; SCHRANK, A. The Paradox of the Weak State Revisited: Industrial Policy, Network Governance, and Political Decentralization. In: BLOCK, F.; KELLER, M. R. (Eds.). **State of Innovation: the U.S. government's role in technology development**. Boulder, CO: Paradigm Publishers, 2011. p. 261–281.

WORLD BANK. **World Bank Open Data**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/>>. Acesso em: 17 mar. 2015.

WRIGHT, B. D. Grand missions of agricultural innovation. **Research Policy**, v. 41, n. 10, p. 1716–1728, 2012.

XIRINACHS-SALAZAR, J. M.; NÜBLER, I.; KOZUL-WRIGHT, R. **Transforming Economies Making Industrial Policy Work for Growth, Jobs and Development**. Geneva: International Labour Office, 2014.