



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE ECONOMIA



NATÁLIA MARTINS PORFIRIO

**Uma análise do modelo DARPA no contexto dos Sistemas  
Nacionais de Inovação**

CAMPINAS  
2022

NATÁLIA MARTINS PORFIRIO

**Uma análise do modelo DARPA no contexto dos Sistemas  
Nacionais de Inovação**

Monografia apresentada ao Instituto de  
Economia da Universidade Estadual de  
Campinas como parte dos requisitos  
exigidos para a obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof(a). Dr(a). Renato Garcia

CAMPINAS  
2022

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Economia  
Luana Araujo de Lima - CRB 8/9706

P825a Porfírio, Natália Martins, 1999-  
Uma análise do modelo DARPA no contexto dos Sistemas Nacionais de Inovação / Natália Martins Porfírio. – Campinas, SP : [s.n.], 2022.

Orientador: Renato de Castro Garcia.  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Estados Unidos. Defense Advanced Research Projects Agency. 2. Sistema nacional de inovação. 3. Inovação. 4. Inovações disruptivas. I. Garcia, Renato de Castro, 1970-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. III. Título.

Informações adicionais, complementares

**Título em outro idioma:** An analysis of the DARPA model in the context of the National Systems of Innovation

**Palavras-chave em inglês:**

United States. Defense Advanced Research Projects Agency

National innovation system

Innovation

Disruptive technologies

**Titulação:** Bacharel em Ciências Econômicas

**Banca examinadora:**

Renato de Castro Garcia [Orientador]

Marcos José Barbieri Ferreira

**Data de entrega do trabalho definitivo:** 30-11-2022

**NATÁLIA MARTINS PORFIRIO**

**Uma análise do modelo DARPA no contexto dos Sistemas Nacionais de Inovação**

Monografia apresentada ao Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Data de aprovação: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Renato de Casto Gracia – Presidente da banca  
Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas

---

Prof. Dr. Marcos José Barbieri Ferreira – Docente convidado  
Faculdade de Ciências Aplicadas – Universidade Estadual de Campinas

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, eu gostaria de agradecer a minha mãe, que sempre me apoiou em tudo que eu faço.

Eu também gostaria de agradecer ao meu professor e orientador Renato Garcia, que tem sido não só meu orientador, mas também meu mentor desde 2019.

Agradeço também aos meus amigos João Victor Furlan, Laura Borba Nicolau e Luana Firmino que me estão comigo desde o começo.

## RESUMO

PORFIRIO, Natália. **Uma análise do modelo DARPA no contexto dos Sistemas Nacionais de Inovação**. Orientador: Renato Garcia. 2022. 2022 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre o modelo DARPA e o que o torna bem sucedido. Isso é feito através de uma análise sobre os diferentes tipos de inovação e o sistema nacional no qual é possível de os diferentes tipos de inovação ocorram. O trabalho inicia analisando os quatro diferentes tipos de inovação e, a partir deste ponto, será analisado conceito de Sistema Nacional de Inovação, um sistema no qual diferentes atores se juntam para produzir a inovação. Em seguida, diferentes Sistemas Nacionais de Inovação são analisados e, por fim, será analisado o Sistema Nacional de Inovação americano. Dentro dele, é analisada a DARPA, uma agencia dentro do Departamento de Defesa americano, responsável por desenvolver tecnologias disruptivas.

**Palavras-chave:** Estados Unidos. Defense Advanced Research Projects Agency; Sistema nacional de inovação; Inovação; Inovações disruptivas.

## ABSTRACT

PORFIRIO, Natália. **An analysis of the DARPA model in the context of the National Systems of Innovation**. Orientador: Renato Garcia. 2022. 2022 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

The present work aims to present a study on the DARPA model and what makes it successful. This is done through an analysis of the distinct types of innovation and the National Innovation System in which it is possible for distinct types of innovation to occur. The work begins by analyzing the four unusual types of innovation and, from this point on, the concept of the National Innovation System will be analyzed, a system in which different actors come together to produce innovation. Then, different National Innovation Systems are analyzed and, finally, the American National Innovation System will be analyzed. Within it, DARPA, an agency within the US Department of Defense, responsible for developing disruptive technologies is analyzed.

**Keywords:** United States. Defense Advanced Research Projects Agency; National innovation system; Innovation; Disruptive technologies.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	INOVAÇÃO .....	12
2	CARACTERIZAÇÃO DA INOVAÇÃO .....	14
2	TIPOS DE INOVAÇÃO .....	16
3	SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO .....	20
3.1	DEFINIÇÕES .....	20
4	O ESTADO E OS SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO .....	24
4.1	O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO ALEMÃO .....	27
4.1.1	TENDÊNCIAS DE OUTPUT .....	28
4.1.2	POLÍTICA NACIONAL DE INOVAÇÃO .....	29
4.1.3	EDUCAÇÃO .....	30
4.2	O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO CHINÊS .....	32
4.2.1	HISTÓRIA .....	32
4.2.2	CARACTERÍSTICAS .....	33
4.2.3	DÉFICTS E PROBLEMAS NO SNI CHINÊS .....	37
4.3	O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO JAPONÊS .....	40
4.3.1	PERSPECTIVA HISTÓRICA .....	40
4.3.2	MUDANÇA DE PARADIGMA .....	42
4.3.3	UMA ESTRATÉGIA DE INOVAÇÃO MAIS COMPREENSIVA.....	43
5	O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO AMERICANO .....	45
5.1	HISTÓRIA .....	45
3.5.1	1870-1940: DESENVOLVIMENTO INICIAL DO COMPLEXO DE INOVAÇÃO CIENTÍFICA .....	45
3.5.2	1940-1980: ERA DA “BIG SCIENCE” E O RELATÓRIO BUSH.....	47
3.5.3	1980 ATÉ HOJE: INOVAÇÃO ABERTA E O FIM DO LABORATÓRIO CORPORATIVO .....	51
6	O MODELO DARPA .....	55
6.1	P&D MILITAR E INOVAÇÃO .....	55
6.1.1	O RACIONAL POR TRÁS DO INVESTIMENTO PÚBLICO EM P&D .....	56
6.1.2	O CRESCIMENTO DA INOVAÇÃO PARA FINS MILITARES .....	56
6.1.3	O DESEMPENHO INOVADOR DA P&D LIGADA À DEFESA .....	57
6.2	A HISTÓRIA .....	61

6.2.1	AS ORIGENS: 1958-1970 .....	61
6.2.2	RESSUCITAÇÃO: DÉCADA DE 1970 .....	63
6.2.3	DESENVOLVIMENTO E TRANSIÇÃO DE TECNOLOGIA: DÉCADA DE 1980 .....	64
6.2.4	FIM DA GUERRA FRIA: DÉCADA DE 1990 .....	65
6.2.5	GUERRA AO TERROR: DÉCADA DE 2000.....	65
6.2.6	TECNOLOGIA PARA SEGURANÇA EM UM MUNDO GLOBALIZADO: DÉCADA DE 2010 .....	66
6.3	O DEPARTAMENTO DE DEFESA E O SETOR PRIVADO: O CASO DA APPLE .....	67
6.4	O MODELO DE CIÊNCIA CONECTADA PARA INOVAÇÃO .....	70
6.4.1	NÍVEL INSTITUCIONAL: ORGANIZAÇÃO DA INOVAÇÃO .....	70
6.4.2	NÍVEL PESSOAL: GRANDES GRUPOS .....	74
6.4.2.1	A “FÁBRICA DE INVENÇÕES” DE THOMAS EDISON EM MENLO PARK, 1876.....	74
6.4.2.2	ALFRED LOOMIS E O RAD LAB NO MIT, 1940-1945.....	75
6.4.2.3	A EQUIPE DE TRANSITORES NO BELL LABS, 1947 .....	77
6.4.3	O MODELO .....	78
6.5	ELEMENTOS CHAVE DO MODELO DARPA .....	81
6.6	COMO O DEPARTAMENTO DE DEFESA INOVA EM UM SETOR LEGADO..	85
6.7	CLONES: OS MODELOS ARPA-E E IARPA .....	91
6.7.1	O MODELO ARPA-E .....	91
6.7.2	O MODELO IARPA.....	97
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	102
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é investigar o contexto do Sistema Nacional de Inovação (SNI) americano no qual surgiu a Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA), uma agência de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) única dentro do Departamento de Defesa (DoD), cujos mecanismos a tornam uma agência capaz atingir seu objetivo final de produzir inovações disruptivas.

Criada no dia 7 de fevereiro de 1958 pelo então presidente Dwight D. Eisenhower em resposta ao lançamento do satélite Sputnik 1 quatro meses antes, a agência formula e executa projetos de P&D com o objetivo de expandir as fronteiras da ciência e da tecnologia, além do que é requerido pelo DoD norte-americano. Ela realiza seus objetivos através de colaborações com universidades e institutos de pesquisa, indústria e parceiros governamentais, além de ser completamente independente de outras agências de P&D militares.

O objetivo da DARPA não é desenvolver qualquer tipo de tecnologia, mas a tecnologia disruptiva. Isso quer dizer que a agência quer criar novas tecnologias que, quando introduzidas, são responsáveis por criar novos mercados ou até mesmo entrar em um mercado já existente e eventualmente deslocar firmas ou produtos líderes em tal mercado. Entretanto, em nível nacional, o processo de inovação requer um fluxo de tecnologia e informação entre pessoas, empresas e instituições. Tal fluxo é conhecido como Sistemas Nacionais de Inovação. Nesse sentido, o desenvolvimento de inovação e tecnologia são resultados de um conjunto complexo de relações entre atores do sistema, como empresas, universidades e institutos de pesquisa governamentais.

Em alguns casos bem sucedidos internacionalmente, como Alemanha, Japão e China, universidades, empresas e institutos governamentais se juntaram para gerar inovação. Os governos e Estados podem não aparecer diretamente como elementos do SNI, mas podem ser atores indiretos através da criação de políticas de inovação e/ou políticas fiscais, e fornecer infraestrutura, um ambiente favorável às atividades inovadoras das empresas e manter estruturas de mercado para que as empresas compitam entre si. Além disso, a educação é um elemento-chave no SNI objetivando atender as necessidades das empresas, por meio da criação de uma força de trabalho qualificada em todos os níveis educacionais.

A monografia está dividida em sete capítulos. O primeiro capítulo é a introdução. O segundo capítulo aprofunda sobre o tema de Sistemas Nacionais de Inovação, de um ponto de vista mais teórico. O quarto capítulo relaciona o papel do Estado com os SNI e relata os casos dos SNIs na Alemanha, na China e no Japão juntamente com os elementos-chave de cada um. O quinto capítulo é dedicado ao SNI americano, relatando a sua história desde sua origem até os elementos que o compõem. O sexto capítulo foca no modelo DARPA, destacando a relação entre P&D militar nos Estados Unidos, sua história, os elementos que a tornam bem sucedida em seu objetivo e, por fim, dois de seus clones, a ARPA-E, focando na área de energia e a IARPA, focando na área de inteligência. Por fim, o sétimo capítulo é dedicado às referências bibliográficas.

## 2 INOVAÇÃO

No discurso popular, entende-se inovação como um pessoal altamente qualificado, trabalhando em ambientes sofisticados e explorando os mais recentes avanços da ciência. Assim, apenas uma pequena parcela da população mundial, majoritariamente em países de alta renda, estaria engajada na inovação e, na maior parte dos casos, os efeitos econômicos seriam bastante limitados. Entretanto, os estudos contemporâneos de inovação têm uma perspectiva mais ampla sobre o tema. Nesse sentido, a inovação é entendida como a introdução de novas soluções em resposta a problemas, desafios ou oportunidades que surgem no ambiente social e/ou econômico.

Para o criador da teoria da inovação Joseph Schumpeter (1912), a inovação refere-se a novas combinações de conhecimento, capacidades e recursos já existentes para produzir novos produtos ou para produzir mercadorias antigas de forma mais eficiente. O sistema econômico muda incessantemente no tempo histórico; firmas e indústrias começam ou morrem, mercados são abertos, novas tecnologias são introduzidas e assim por diante. Segundo Schumpeter, a principal força que ocasiona essa mudança estrutural é o "vendaval perene de destruição criativa" (Schumpeter, 1942). Esse processo se refere às ondas de atividade inovadora que atingem o sistema econômico em diferentes pontos do tempo, resultando na destruição da antiga estrutura econômica e na criação de uma nova. Assim, Schumpeter (1912) vê a introdução de inovações, ou seja, "a realização de novas combinações" como o processo chave para mudança em todas as atividades econômicas. Ele menciona vários tipos de inovações: a introdução de novos produtos, novos métodos de produção e novas formas de organização empresarial, bem como a penetração de novos mercados de entrada e saída. As inovações são mais do que apenas pequenas mudanças reunidas: "Adicione quantos vagões para correspondência desejar, você nunca obterá uma ferrovia fazendo isso" (Schumpeter, 1940). Em vez disso, para Schumpeter, as inovações são "novas combinações" que perturbam qualquer equilíbrio existente no sistema econômico.

Também foi Schumpeter (1912) que introduziu a distinção entre os conceitos de invenção, uma nova ideia de como fazer as coisas, e inovação, levar invenção à

prática. Por esse ponto de vista, é apontado dois aspectos da inovação: novidade e implementação. O conceito de novidade não se refere apenas ao que é novo ao mundo, mas também pode se referir a algo que é novo para aqueles que produzem ou usam a inovação. Ademais, a novidade não precisa ser do tipo radical, no sentido de oferecer novas funcionalidades e/ou causando disrupção a práticas existentes, mas também pode se referir a um melhoramento incremental em algum processo ou produto.

Para Schumpeter (1912), o que importava na distinção entre invenção e inovação era a realização de que o que importava econômica e socialmente não era a ideia, mas sua exploração no sistema econômico-social. Portanto, se queremos maximizar a contribuição da inovação para a mudança econômica e social, não é suficiente focar no que explica a ocorrência de uma novidade, também precisamos de um entendimento profundo da sua adoção e posterior exploração. Kline e Rosenberg (1986) enfatizam a importância da fase de exploração, afirmando que uma grande parte das inovações sofrem mudanças drásticas em suas vidas, mas que os melhoramentos subsequentes em uma invenção após sua primeira introdução podem ser mais economicamente importantes do que a disponibilidade inicial da invenção em sua forma original. Tais melhoramentos ocorrem principalmente na fase de difusão, através da interação entre as várias partes envolvidas, como clientes e fornecedores.

Por outra perspectiva, Rosenberg (2006) afirma que as inovações quase nunca surgem isoladamente devido ao fato que, muitas vezes, o surgimento de alguma invenção depende de uma ou mais invenções serem criadas. Assim, as tecnologias interagem entre si e dependem umas das outras. Isso gera uma certa dificuldade no que diz respeito à análise do retorno social de uma invenção, já que as conexões entre as diferentes tecnologias são numerosas e apresentam diversos graus de importância. Desta maneira, ele raramente pode ser identificado isoladamente. Além disso, os benefícios da inovação são difíceis de identificar pelo fato de terem sido obtidos em setores diferentes daquele no qual a inovação foi originalmente produzida. Esses benefícios podem ser difusos e difíceis de identificar graças ao fato que sua disponibilidade permite que ocorra no seu processo produtivo uma grande quantidade de alterações.

Pontualmente, cada inovação tem consequências econômicas muito limitadas, mas as tecnologias interconectadas, reforçando-se mutuamente, resultam na crescente produtividade das economias industriais. Quando Rosenberg (2006) pensa nos principais conjuntos de inovações de uma perspectiva sistêmica e analisa a natureza sistêmica de um conjunto de tecnologias usando como exemplo a luz elétrica, ele chega à conclusão que dificilmente melhoramentos de produtividade grandes são o resultado de inovações tecnológicas isoladas, mas sim, o efeito combinado de um grande número de melhoramentos dentro de um sistema tecnológico, que envolve diferentes setores industriais.

Do mesmo modo, os setores produtivos estão cada vez mais dependentes entre si para obter uma alta taxa de crescimento de produtividade, de capacidades e de recursos externos a si próprios. Além do mais, uma inovação vinda de fora pode diminuir o preço do produto no setor que ela está ou tornará possível produtos ou processos inteiramente novos ou melhorados. O fluxo intersetorial de materiais, equipamentos e componentes pode dar origem a uma ampla difusão de melhoramentos de produtos e redução de custos.

De acordo com Nelson (2006), os benefícios da inovação são difíceis de serem identificados de forma compreensível pelo fato deles frequentemente serem auferidos por setores diferentes daquele no qual a inovação foi originalmente produzida. Os benefícios de uma inovação podem ser altamente difusos e difíceis de identificar porque sua disponibilidade permite que ocorra no processo produtivo um grande número de outras alterações (incluindo inovações).

## **2.1 CARACTERIZAÇÃO DA INOVAÇÃO**

Os efeitos da inovação são difíceis de serem mensurados, uma vez que não existe apenas uma dimensionalidade simples e única, mas diversas dimensões que cobrem uma série de atividades. Pode-se pensar na inovação como um novo produto, mas ela também pode ser um novo processo de produção; a substituição por um material mais barato, recém desenvolvido para uma tarefa dada em um produto essencialmente inalterado; a reorganização da produção, funções internas ou arranjos de distribuição levando a um aumento de eficiência para um produto ou

custos mais baixos; e melhoramentos nos instrumentos ou métodos de fazer inovação.

São as mudanças de produto que tornam difícil tratar a inovação de um modo rigoroso por causa da dificuldade em mensurar a significância econômica de inovações de produto ou modificações de produto (Kline e Rosenberg, 1986). Portanto, não existe apenas uma maneira óbvia de mensurar os resultados da inovação tecnológica. Isso é relevante, pois a natureza dos problemas e das restrições de mercado devem ser enfrentadas e, como resultado, a maneira na qual inovações são geradas se diferenciam significativamente de uma indústria para outra. Além disso, o estado do conhecimento nas ciências e tecnologias relevantes e a natureza e a potencial lucratividade de um resultado de inovação variam de indústria para indústria e de firma para firma. Consequentemente, se for colocado os mesmos insumos em diferentes firmas aleatórias, é esperado que o processo de inovação tecnológica envolva diferentes tipos de atividades de P&D e renda diferentes taxas de retorno dos insumos investidos.

Um outro obstáculo da inovação para mensurá-la são os efeitos de uma indústria em rápida expansão nos seus fornecedores. Uma indústria em rápido crescimento quase sempre gera um aumento na demanda de outras indústrias que produzem bens intermediários, estimulando taxas mais rápidas de mudança tecnológica nas indústrias dos fornecedores. Como exemplo, Kline e Rosenberg (1986) citam o crescimento acelerado da indústria automobilística no começo do século XX, que foi um estimulante poderoso para o desenvolvimento de novos métodos de refinamento de petróleo. Ademais, a alta demanda da indústria automobilística do século XX gerou lucratividade e, provavelmente, um certa quantidade de invenções em diversas indústrias, como vidro, borracha, aço e plástico.

Como eles nem sempre caem dentro das linhas da fronteira da indústria, os impactos das inovações tecnológicas são difíceis de serem rastreados e, na verdade, o efeito da mudança tecnológica pode trazer um redesenho drástico das linhas da fronteira previamente existentes.

As inovações não tem uma dimensionalidade óbvia ou uniforme. Não existe uma maneira geralmente aceita de mensurar sua importância ou seu impacto. Por um lado, existe uma tendência com grandes inovações de um tipo altamente visível, como energia elétrica, automobilística, aviação, televisão, antibióticos, computadores, entre outras. Entretanto, a maior parte das inovações tecnológicas são de tipos menos visíveis e, em muitos casos, quase invisíveis. Elas aparecem nas sociedades industriais na forma de pequenas mudanças, como uma pequena modificação no design de uma máquina que irá possibilitá-la de melhor servir a fins específicos, ou tornará mais fácil e, portanto, mais barato de fabricar; ou melhorar as características de desempenho de uma máquina através da introdução de um metal mais pesado, ou uma nova liga com ponto de derretimento mais alto.

Por outro lado, Kline e Rosenberg (1986) concordam ser um erro tratar inovações como se elas fossem um poço: coisas homogêneas e bem-definidas que podem ser identificadas entrando na economia em uma data específica ou tornando-se disponível em uma hora precisa. Invenções como entidades econômicas são diferentes de invenções como entidades legais. As invenções mais importantes sofrem mudanças drásticas durante suas vidas, mudanças que muitas vezes transformam sua significância econômica. Em seus estágios iniciais, invenções são tipicamente cruas e primitivas, e não alcançam níveis de desempenho ou de produtividade que elas obtêm posteriormente.

Mas se uma inovação será de fato introduzida e se valerá a pena gastar dinheiro melhorando-a, depende não apenas dos seus custos ou das suas características de desempenho, mas na gama de alternativas disponíveis. Portanto, o critério último é o econômico.

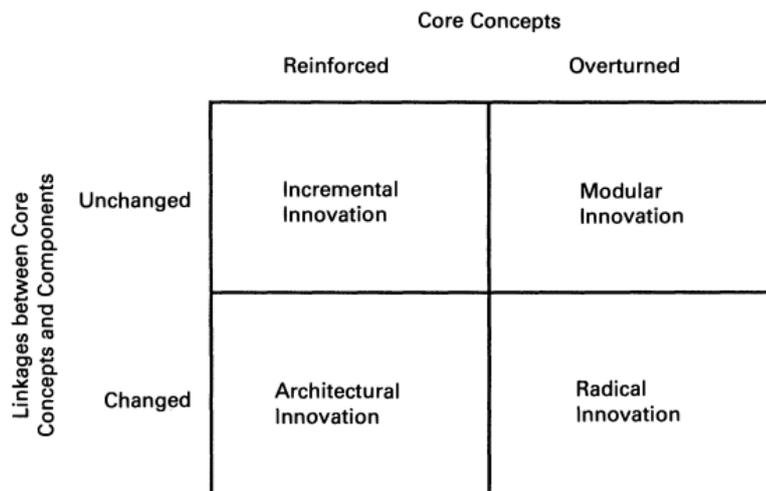
## **2.2 TIPOS DE INOVAÇÃO**

A ideia de que existem diferentes tipos de inovação e que possuem diferentes efeitos competitivos é um tema estudado na literatura da inovação tecnológica desde Schumpeter (1942). Os diferentes tipos de inovação foram caracterizados em termos de seus impactos nas capacidades estabelecidas de uma firma.

A primeira diferenciação é entre a inovação disruptiva e a inovação sustentadora, proposta por Bower e Christensen (1995). A inovação sustentadora, também conhecida como inovação incremental, é um tipo de inovação geradora de tecnologias que tendem a manter uma taxa de melhoria, ou seja, elas dão aos usuários algo a mais ou melhor nos atributos que eles já valorizam. Os autores usam como exemplo o componente filme fino usado em *disk drives*, que substituiu *ferrite heads* convencionais e discos de óxido entre 1982 e 1990, permitindo que a informação fosse gravada mais densamente nos discos.

Por outro lado, a inovação disruptiva, que leva a criação de tecnologias disruptivas, introduz um conjunto diferente de atributos diferente daquele que os clientes tradicionais valorizam historicamente, e muitas vezes têm um desempenho muito pior em uma ou duas dimensões que são particularmente importantes para esses clientes. Como regra, os clientes tradicionais não estão dispostos a usar um produto disruptivo em aplicações que eles conhecem e entendem. A princípio, então, as tecnologias disruptivas tendem a ser usadas e valorizadas apenas em novos mercados ou novas aplicações, geralmente possibilitando o surgimento de novos mercados. Por exemplo, os primeiros rádios transistorizados da Sony sacrificaram a fidelidade do som, mas criaram um mercado para rádios portáteis oferecendo um novo e diferente pacote de atributos como tamanho pequeno, peso leve e portabilidade.

Clark e Henderson (1990) vão além e propõem um modelo com mais dois tipos de inovação. O modelo classifica inovações em duas dimensões, cujo foco é o impacto de uma inovação na utilidade do conhecimento existente de arquitetura e componentes da empresa, como mostra a Figura 1. A dimensão horizontal leva em consideração o impacto de uma inovação nos componentes, enquanto a dimensão vertical considera seus impactos nas ligações entre os componentes. A ideia não é que o mundo pode ser dividido em quatro quadrantes definidos, mas que uma determinada inovação pode ser menos radical ou mais arquitetônica.



**Figura 1:** Um modelo para definir inovação. Fonte: Clark e Henderson (1990)

Portanto, a inovação incremental e a radical são pontos extremos ao longo de ambas dimensões. A inovação radical estabelece um novo design dominante e, conseqüentemente, “um novo conjunto de conceitos centrais de design incorporados em componentes vinculados em uma nova arquitetura” (Clark e Henderson, 1990). Em contrapartida, a inovação incremental refina e estende um design estabelecido. A melhoria ocorre em componentes individuais, mas os conceitos básicos de design e os vínculos entre eles permanecem os mesmos.

Ademais, os autores definiram mais dois tipos de inovação. A inovação modular é a inovação que muda apenas conceitos básicos de design de uma tecnologia, como por exemplo a substituição de telefones analógicos por digitais. Portanto, há a substituição de um dispositivo de discagem analógica por um digital, somente alterando um conceito básico de design e não a arquitetura do produto.

O último tipo é a inovação arquitetônica, que altera a arquitetura de um produto, mas deixa os componentes e os conceitos básicos de design que eles encorpam inalterados. Ela é responsável por reconfigurar um sistema estabelecido para conectar componentes de uma nova maneira, sendo que os componentes podem também ser alterados. A inovação arquitetônica pode ter início a partir de alguma mudança no design de um componente que cria novas ligações e novas interações no produto estabelecido. A ideia é que o conceito básico de design por

trás de cada componente e o conhecimento científico associado e de engenharia permaneça o mesmo.

Os autores citam como exemplo o ventilador de teto. Se a tecnologia estabelecida for a de grandes ventiladores elétricos, montados no teto, com o motor oculto e isolado para amortecer o ruído, melhorias no design das pás ou na potência do motor seriam inovações incrementais. Já uma mudança para o ar condicionado central seria uma inovação radical. Novos componentes associados a compressores, refrigerantes e seus controles associados adicionariam novas disciplinas técnicas e novas inter-relações. No entanto, para o fabricante de grandes ventiladores de teto, a introdução de um ventilador portátil seria uma inovação arquitetônica. Embora os componentes primários sejam basicamente os mesmos (por exemplo, lâmina, motor, sistema de controle), a arquitetura do produto seria bem diferente. Haveria mudanças significativas nas interações entre os componentes. O tamanho menor e a co-localização do motor e da pá na sala chamariam a atenção para novos tipos de interação entre o tamanho do motor, as dimensões da pá e a quantidade de ar que o ventilador poderia circular, enquanto reduzia o tamanho do aparelho provavelmente introduziria novas interações entre o desempenho da lâmina e o peso do produto.

### **3 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO**

A análise do desempenho e das políticas de tecnologia tradicionalmente se concentra em *inputs*, ou insumos, como por exemplo, gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e a quantidade de pessoal envolvido em pesquisa, e *outputs*, ou produtos, como patentes. Entretanto, as limitações dessa abordagem se tornaram evidentes ao longo do tempo, uma vez que, apesar desses indicadores serem fonte importante de informação sobre o conteúdo e a direção do esforço tecnológico, sua capacidade de mensurar a “inovação” geral de uma economia é pequena. Os indicadores convencionais não oferecem explicações convincentes sobre as tendências de inovação, crescimento e produtividade, além de negligenciar a maneira como diversos atores em um país interagem no processo de inovação, o que levou a teoria sobre o assunto a destacar a significância dessas interações entre pessoas e instituições envolvidas no desenvolvimento tecnológico.

Nesse contexto, surgiu o conceito de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), cuja premissa é que o entendimento das interações entre os atores envolvidos no processo de inovação é essencial para aprimorar a performance tecnológica. Tanto a inovação quanto o progresso técnico são o resultado de um conjunto complexo de relações entre atores produzindo, distribuindo e aplicando vários tipos de conhecimento. O desempenho inovador de um país depende da maneira como esses atores interagem entre si como constituintes de um sistema coletivo de criação e uso do conhecimento, bem como das tecnologias que utilizam. Esses atores são principalmente empresas privadas, universidades e institutos públicos de pesquisa, bem como as pessoas que trabalham neles. As interações tomam forma em pesquisas em conjunto, intercâmbio de pessoal, licenciamento cruzado, compra de equipamentos, entre outros.

#### **3.1 DEFINIÇÕES**

Com o objetivo de entender as diferenças entre desenvolvimento tecnológico e perfis de especialização entre países, o termo SNI ganhou diversas definições desde o seu surgimento no final da década de 1980 e começo da década de 1990. Entretanto, existem três livros pioneiros sobre o assunto: “Technology Policy and

Economic Performance: Lessons from Japan” escrito por Christopher Freeman (1987); “National Innovation Systems: A Comparative Analysis” escrito por Richard R. Nelson (1993); e “National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning” escrito por Bengt-Åke Lundvall (1992). Em seus estudos, cada autor foi responsável por dar uma definição ao termo. Segundo Freeman:

“Nos dois últimos séculos, as atividades científicas e técnicas que se destinam a promover o fluxo de inovações técnicas e organizacionais e sua difusão aumentaram muito em escala e tornaram-se altamente especializadas em diversas instituições. Ao mesmo tempo, a educação nacional e sistemas de treinamento, que podem estimular e disseminar avanços tecnológicos, expandiram-se amplamente para garantir que a força de trabalho tenha a combinação de habilidades necessárias para difundir e operar essas novas técnicas eficientemente. A rede de instituições dos setores público e privado cujas atividades e interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias pode ser descrita como “o sistema nacional de inovação”.

De acordo com Lundvall:

“A definição restrita incluiria organizações e instituições envolvidas na pesquisa e exploração – como departamentos de P&D, institutos tecnológicos e universidades. A definição ampla [...] inclui todas as partes e aspectos da estrutura econômica e da estrutura institucional que afetam o aprendizado, bem como a busca e a exploração...”.

Por fim, Nelson define cada palavra do termo SNI:

“Considere-se agora o termo “inovação”. Neste estudo, interpretamos o termo de forma ampla, a fim de englobar os processos pelos quais as empresas dominam e põem em prática projetos de produtos e processos produtivos que são novos para ela, mesmo que não sejam novos em termos mundiais, ou mesmo nacionais. (...) Em seguida, temos o termo “sistema”. (...) Nossa orientação foi a de considerar um conjunto de instituições cujas interações determinam o desempenho inovador, no sentido já referido, das empresas nacionais. (...) Em vez disso, o conceito de “sistema” é aqui utilizado para designar um conjunto de atores institucionais que, em

conjunto, desempenham o importante papel de influenciar uma performance inovadora.”

Os autores dessas definições, portanto, reconhecem que a função primordial de um sistema de inovação é gerar inovações e criar novos conhecimentos. Entretanto, Edquist (2005) argumenta que há falta de acordo no quesito de delimitar o conceito de sistema de inovação, tornando-o difuso e essa falta de clareza constitui uma barreira para o progresso em direção a um conceito mais “rigoroso” e “teórico”. Ao invés de definir o sistema como constituído por organizações, ele deve ser definido especificando diferentes funções/atividades/fatores, como P&D, construção de competências, formação de novos mercados de produtos, articulação das necessidades dos usuários, criação e mudança de organizações, networking em torno de conhecimento, criação e mudança de instituições, atividades de incubação, financiamento da inovação e serviços de consultoria.

Lundvall et al. (2013) afirmam que todos esses fatores podem de fato contribuir ou ser meio para inovação, mas outras atividades/funções/fatores influenciadores da inovação podem ser listados, como competição, abertura ao comércio exterior e fluxos de capital, dinâmica do mercado de trabalho, sistemas de bem-estar social e capital social. Além disso, os autores acreditam ser insatisfatório definir o sistema de inovação tanto por seus componentes organizacionais e suas interações quanto por listagem de atividades ou funções, optando por focar no processo de inovação e recorrer à teoria da inovação baseada em fatos estilizados e enraizada em uma perspectiva evolutiva.

Assim sendo, os autores propõem uma definição que destaca o interesse deles em entender como a inovação acontece e como ela é transformada em desempenho macroeconômico. Para eles:

“O sistema nacional de inovação é um sistema aberto, evolutivo e complexo que engloba relacionamentos dentro e entre organizações, instituições e estruturas socioeconômicas que determinam a taxa e a direção da inovação e da construção de competências que emanam de processos de aprendizagem baseada na ciência e na experiência.”

Tal definição realça três aspectos importantes. O primeiro é que a inovação e a educação refletirão a combinação de instituições e a estrutura socioeconômica, ou seja, o que você faz refletirá o que você sabe que, por sua vez, será refletido no que você aprende. Este ponto de partida é de fundamental importância para os países em desenvolvimento, pois abre a possibilidade de manipular o padrão de especialização para que a taxa de aprendizagem e construção de competências seja alta. O segundo aspecto é que a definição também especifica que a construção de competências é o outro lado do processo de inovação. Às vezes, “aprendizado” é empregado para se referir principalmente à adaptação passiva às circunstâncias em mudança. Os autores também veem a criação de capacidades nas empresas e a formação de competências entre as pessoas como resultados importantes de processos de aprendizagem “ativa”. Por fim, o terceiro aspecto é que a definição especifica que a inovação está enraizada não só na aprendizagem baseada na ciência, mas também na aprendizagem baseada na experiência.

Apesar de que os conjuntos de organizações e suas relações, instituições e estruturas socioeconômicas evocadas por essa definição são amplos, os aspectos da educação e da formação, políticas sociais que sustentam o capital social, a aprendizagem interativa, o funcionamento dos mercados de trabalho e a organização das empresas também devem ser considerados com relação à sua contribuição à inovação e à construção de competências. Assim, Lundvall et al. (2019) criam uma nova definição de sistema de inovação como um dispositivo de focalização a ser aplicado à economia nacional e contrastá-lo com o dispositivo de focalização oferecido pela economia neoclássica:

“O sistema de inovação (nacional/regional/setorial) é um dispositivo de focalização que visa analisar e compreender processos de inovação (em vez de alocação) onde os agentes interagem e aprendem (em vez de se engajarem em escolhas racionais). O objetivo de usar este dispositivo é descobrir quais configurações institucionais e organizacionais alternativas suportam um desempenho dinâmico mais forte de uma economia ou setor (nacional/regional).”

A proposição básica subjacente é que a forma e o conteúdo das organizações, instituições e estruturas socioeconômicas que parecem mais atraentes quando nos concentramos na mudança econômica e nos agentes que

aprendem não serão os mesmos de quando o foco está na alocação de recursos existentes em a base dos agentes racionais. Também é levado em consideração que, embora diferentes configurações institucionais possam ser mais ou menos eficientes, não há uma única maneira “ótima” de organizar uma economia nacional ou regional.

#### **4 O ESTADOS E OS SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO**

Os estudos sobre SNI procuram identificar e, conseqüentemente, se possível, mensurar os elementos mais importantes do SNI. Tais estudos mostram que os principais atores são empresas inovadoras, cuja interação como clientes e fornecedores entre si e com outros atores, como organizações e instituições, são essenciais para formar a capacidade inovadora das empresas.

Levando em conta os três livros pioneiros já citados, os elementos-chave são claramente identificados. Ao olhar o caso japonês, Freeman decide focar em quatro aspectos específicos: 1) o papel do Ministério do Comércio Internacional e Indústria; 2) o papel da pesquisa da empresa e da estratégia de desenvolvimento em relação à tecnologia importada e "engenharia reversa"; 3) o papel da educação, do treinamento e de outras inovações sociais; e 4) a estrutura do conglomerado industrial. Por sua vez, Lundvall lista os seguintes elementos do sistema: organização internacional das firmas, relacionamento entre empresas, papel do setor público, configuração institucional do setor financeiro e intensidade e organização da Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Por fim, Nelson identifica empresas e laboratórios de pesquisa industrial, laboratórios governamentais e universitários, apoio financeiro governamental para P&D na indústria, sistema nacional de educação e treinamento e instituições financeiras como os principais atores institucionais.

Ademais, as firmas podem interagir com agentes não pertencentes ao mercado. Em primeiro lugar, elas se relacionam com instituições e organizações, como universidades, institutos de pesquisa e laboratórios públicos de pesquisa, envolvidos na geração e desenvolvimento de pesquisa científica básica e na formação de cientistas e engenheiros. Eles também dependem dos sistemas nacionais de educação e dos mercados de trabalho, pois a educação e o treinamento determinam a oferta de habilidades da força de trabalho e influenciam as atitudes dos trabalhadores em relação à mudança técnica. Somados a isso, há a necessidade de uma configuração institucional para incentivá-las a inovar, através da garantia da concorrência de mercado e dos direitos de propriedade intelectual. Externamente, o sistema financeiro precisa ser adequadamente

direcionado para financiar atividades inovadoras, que podem ser custosas e incertas.

Desta maneira, universidades, institutos de pesquisa e laboratórios públicos de pesquisa devem trabalhar em conjunto com as empresas para apoiá-las e auxiliá-las no processo de inovação, enquanto governos e Estados não são apresentados diretamente como elementos chave do SNI, podendo aparecer indiretamente por meio de políticas de inovação e/ou políticas fiscais.

Os sistemas nacionais de educação devem atender às necessidades das empresas em termos de suas atividades inovadoras, por meio da criação de uma força de trabalho qualificada em todos os níveis educacionais. O Estado também deve intervir como regulador para garantir a existência de um mercado competitivo adequado e a possibilidade de empresas inovadoras se apropriarem dos resultados de suas atividades de P&D (direitos de propriedade intelectual). A maioria dessas intervenções governamentais fazem parte das políticas fiscais, pois só são alcançáveis por meio do gasto público. As firmas inovadoras também precisam que o Estado crie infraestrutura física e social. Somado a isso, há a necessidade de uma política monetária, uma vez que o sistema financeiro é responsável por criar o poder de compra das firmas, possibilitando o desenvolvimento de suas atividades inovadoras. Portanto, o financiamento de investimentos em inovação depende da política monetária, que afeta os sistemas bancário e financeiro de um país.

Conseqüentemente, o Estado ingressa no SNI como uma instituição cuja única tarefa é fornecer elementos-chave, como infraestrutura, para criar e manter um ambiente favorável às atividades inovadoras das empresas, além de criar e manter estruturas de mercado para permitir que as empresas privadas compitam entre si, para que a firma mais inovadora sobreviva. Assim, a política governamental relacionada à inovação é rebaixada a uma tarefa regulatória. No entanto, observando a experiência de alguns países líderes na fronteira tecnológica, é possível ver que o papel do Estado é significativamente mais relevante.

Entender melhor as origens, o desenvolvimento e o *modus operandi* de um sistema de inovação de uma nação pode ajudar os tomadores de decisão a identificar seus pontos fortes e os fracos e as mudanças nas políticas que podem

melhorar o desempenho inovador de um país. Por causa da variedade de fatores que os compõe, nenhum SNI é exatamente igual a outro. Cada um é único e precisa ser entendido dentro do seu contexto.

#### **4.1 O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO ALEMÃO**

Muitos aspectos do sistema de inovação alemão tem origem nos séculos XIX e XX (Allen, 2015). Entre eles, características de esquemas de aprendizagem e universidades, além da criação de institutos de pesquisa, como a Max Planck Society, e a fundação de grandes empresas industriais conhecidas por suas capacidades inovadoras, como Siemens, BASF e Daimler.

Até os dias de hoje, as forças inovadoras da Alemanha ainda se encontram nas indústrias que se tornaram proeminentes no século XIX, como as indústrias automobilística, de engenharia mecânica, elétrica e química. Entretanto, em outras áreas, como a indústria farmacêutica, nas quais as primeiras inovações deram o ímpeto ao estabelecimento de empresas de sucesso, o país ficou para trás em relação a outras economias similarmente avançadas. Para que as empresas tivessem êxito, organizações como institutos de pesquisa, somados a um forte sistema de treinamento e educação vocacional, tiveram que se adaptar às mudanças nas pressões econômicas e políticas. Isso se mostra verdade visto que atualmente os políticos buscam ajustar o SNI alemão para coincidir com pressões competitivas aumentadas para garantir a força contínua daquele sistema.

Por causa da estrutura política federal da Alemanha, muitas políticas em nível nacional são influenciadas pelas preocupações dos governos dos estados federais, além de suplementarem políticas de nível nacional com as suas próprias no nível regional, principalmente em relação ao sistema educacional. Isso significa que apesar do SNI alemão ter certas características, existem variações substanciais em áreas chave nos estados federais. Ademais, devido à relativamente recente unificação do país em 1990, muitos institutos de pesquisa e indústrias são, em geral, mais desenvolvidos no oeste do país do que no leste. Entretanto, há exceções, como o estado federal da Saxônia, que focou na promoção do estabelecimento de organizações voltadas à missões dentro da sua fronteira. Em algumas instâncias,

ele foi mais bem sucedido do que os outros estados federais, independente da sua localização geográfica.

Existem muitos institutos de pesquisa importantes na Alemanha. As aceleradas mudanças que ocorreram nas últimas duas décadas, buscaram racionalizar a estrutura institucional para, em primeiro lugar, promover a excelência em pesquisa; segundo, aproveitar ao máximo os recursos já investidos; e, finalmente, direcionar recursos para pesquisadores e institutos com maior probabilidade de produzir os resultados desejados.

#### 4.1.1 TENDÊNCIAS DE OUTPUT

Segundo dados do Banco Mundial, a Alemanha teve um gasto de 3,13% do seu PIB com P&D em 2018, acima dos EUA (2,83%) e da média dos países da União Europeia (2,19%) no mesmo ano, mas ficando para trás do Japão (3,28%).

Em 2001, o governo federal alemão lançou um plano de ação designado para expandir as iniciativas de comercialização de tecnologia, através da identificação dos déficits. Foram lançadas iniciativas em quatro áreas: exploração, focando na transferência de resultados de pesquisa mais rápido em produtos e serviços comerciais; *spin offs*, que pretendiam aumentar o número de *startups* relacionadas à pesquisa; parceria, concentrada em melhorar iniciativas para colaboração entre institutos de pesquisa e o setor privado; e competência, que procura facilitar o uso dos resultados de pesquisa nos processos de inovação das firmas (Allen, 2015).

Além disso, o governo federal criou agências de patente e exploração, dedicadas ao patenteamento de inovações que surgiam em universidades e outros institutos de pesquisa com financiamento público e, com o objetivo de criar um ambiente mais favorável para os *spin offs* e as *startups*, aumentou os fundos públicos disponíveis para apoiar pesquisadores que quisessem criar seu próprio negócio e estabelecer associações que permitem empreendedores experientes a mentorear os mais novos.

Em seus esforços para incentivar uma maior colaboração entre os institutos de pesquisa, o Governo Federal simplificou o financiamento a eles e reuniu os centros de pesquisa em associações mais amplas, além de reformar o sistema educacional e modernizar os centros de treinamentos vocacionais. Os regulamentos de financiamento foram alterados para que, se um projeto recebeu financiamento federal, ele deveria conter um plano de exploração e esse plano deveria ser implementado.

#### *4.1.2 POLÍTICA NACIONAL DE INOVAÇÃO*

Com relação à política nacional de inovação, a da Alemanha possui três elementos: (1) o governo foca em estabelecer objetivos para pesquisadores nos setores públicos e privados; (2) a melhora da infraestrutura de P&D, ou seja, institutos de pesquisa e equipamentos; e (3) ela busca aprimorar as capacidades e habilidades dos cientistas e pesquisadores que trabalham no país ou que irão embarcar em uma carreira no campo da inovação. Portanto, a política de tecnologia alemã foca na estratégia, infraestrutura e no capital humano.

Em uma tentativa de criar condições na Alemanha que permitisse que os pesquisadores e as organizações ganhassem vantagens nos mercados tecnologicamente avançados e possivelmente se tornariam importantes no futuro, o Governo Federal criou a Estratégia de Alta Tecnologia para a Alemanha em 2006. O objetivo é que a Estratégia dê um novo ímpeto, através de mudanças na política de tecnologia, em seus esforços para transformar a Alemanha em um país provedor de condições mais oportunas no mundo para pesquisa e inovação. Ela também procura priorizar atividades de pesquisa com financiamento majoritariamente público e maximizar os ganhos de recursos existentes.

Em 2005, o país adotou a Iniciativa Conjunta para Pesquisa e Inovação. Essa iniciativa gerou um aumento de financiamento aos maiores institutos de pesquisa e de ciência do país, visando aprimorar seus desempenhos, facilitar e expandir a cooperação, através da formação de aglomerados que incluam pesquisadores dos setores públicos e privados, e promover o desenvolvimento de novos pesquisadores.

Além disso, ela contém provisões para permitir que projetos novos e pouco convencionais recebam mais incentivos.

#### 4.1.3 *EDUCAÇÃO*

A educação de base na Alemanha é de responsabilidade de cada estado federal, podendo haver diferenças entre eles, como por exemplo o tempo gasto em diferentes escolas e a quantidade de ênfase em diferentes disciplinas escolares (Allen, 2015). Porém, em geral, ela é similar para todos os alunos até os 10 anos de idade. Depois disso, com base nas suas habilidades intelectuais, os alunos são divididos em três escolas, que determinam o tipo de educação e treinamento que estará disponível às pessoas no futuro.

As universidades têm origem, juntamente com outros elementos do SNI alemão, no século XIX e, portanto, já passaram por diversas reformas. Entretanto, um aspecto duradouro tem sido o número comparativamente alto de graduados em engenharia, manufatura e construção. Com relação à pesquisa, ela tende a ser conduzida como projetos discretos, controlados por até dois professores que também têm responsabilidades administrativas, pode causar competitividade entre departamentos, liderados administrativamente e intelectualmente por um professor, e levar a um nível menor de resultados inovadores.

Uma das maiores mudanças na educação superior do país dos últimos 20 anos ocorreu em 2004. A reforma feita deu a oportunidade às universidades da Alemanha de premiar diplomas de bacharelado e de mestrado, tornando o sistema de educação superior similar ao encontrado nos EUA e no Reino Unido. O governo federal espera que essa reestruturação impulse o número de pessoas nos estudos de negócios ou administração e programas de graduação ligados à tecnologia. Também houve a introdução de uma nova estrutura de salários para aqueles que foram nomeados professores pela primeira vez, igualando-os aos salários dos que já eram professores antes da reforma, havendo também a possibilidade de incrementar seu salário-base por meio de pagamentos relacionados

ao desempenho baseados em pesquisa e ensino. Essa reforma visa ajudar os professores a intensificar suas atividades de pesquisa, estimulando a inovação.

Uma cooperação entre o Governo Federal e os estados federais lançada em 2005, a Iniciativa de Excelência, visa permitir que universidades selecionadas, escolhidas através de um exercício para avaliar as atividades de pesquisa atuais e a habilidade de desenvolver pesquisadores no começo da carreira, aumentem sua experiência e reconhecimento internacional em áreas de pesquisa nas quais já são fortes, facilitando, assim, a emergência de “universidades de elite” que conduzem pesquisas mais avançadas e extensivas do que as não selecionadas. A Iniciativa pode ser vista como uma resposta ao aumento da competição em áreas de pesquisa e inovação de países desenvolvidos e emergentes, além de apelar para resolver o problema do subfinanciamento crônico na educação superior e de responder às preocupações sobre a reputação da Alemanha no exterior como um local de pesquisa.

Por fim, a Educação e o Treinamento Vocacional (ETV) são oferecidos pelo Ministério Federal de Educação e Treinamento e o Instituto Federal de Educação e Treinamento Vocacional. Esses trabalham em conjunto com os representantes dos empregadores e dos trabalhadores, desempenhando papéis fundamentais no estabelecimento de parâmetros amplos dentro dos quais empregadores, provedores de treinamento e os funcionários operam. A oferta de ETV assenta no princípio da dupla formação, ou seja, dois parceiros (empresas e escolas de treinamento vocacional) dividem a responsabilidade de prover EVT aos aprendizes. A maior parte do aprendizado acontece nas empresas, onde os aprendizes passam de 3 a 4 dias. Nos outros dias, eles participam de escolas de treinamento vocacional. O material estudado é de natureza tanto teórica quanto prática e é projetado para apoiar principalmente conhecimento orientado para a prática adquirida na empresa. Desta maneira, o sistema de formação dual promove a oferta de competências específicas da empresa e da indústria.

Em termos de SNI, os esquemas de ETV na Alemanha promovem empresas e indústrias com trabalhadores com habilidades que podem ajudá-los a manter vantagens competitivas. O papel das agências estatais, associações de empregadores e sindicatos na organização do sistema de habilidades vocacionais

leva ao desenvolvimento de habilidades padronizadas altamente valorizadas para grande parte da força de trabalho. Consequentemente, segundo Allen (2015), isso possibilita que os trabalhadores contribuam para as capacidades de inovação das empresas.

## **4.2 O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO CHINÊS**

Na última década, a China se tornou um destaque mundial em termos de inovação. O país gasta mais 2,2% do seu PIB com atividades de P&D, acima da média da União Europeia. Além disso, o país é o líder global em patentes domésticas e inovou setores como trens de alta velocidade, *e-commerce* e pagamentos por celular (Song, 2013).

### *4.2.1 HISTÓRIA*

Após 1949, a China começou a estabelecer diversos tipos de institutos de pesquisa científica, incluindo a Academia Chinesa de Ciências, institutos industriais e institutos locais, e lançou um plano de desenvolvimento nacional de 12 anos para C&T. Consequentemente, o período entre 1950 e 1977 é caracterizado pela formação do SNI chinês. Em 1978, o país adotou políticas de reforma e abertura e começou a explodir o modelo de desenvolvimento do SNI. Em seguida, ela começou a lançar uma série de planos de C&T nacionais, como o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento de Alta Tecnologia, o Programa Tocha, o Programa Fagulha, o Programa de Promoção de Grandes Realizações, a Fundação Nacional de Ciência Natural, e o Programa Escalando. Além disso, o país reformou o sistema de financiamento, desenvolveu mercados de tecnologia, promoveu comercialização de conquistas de P&D, e lançou novas políticas de inovação.

Em 1995, a China passou a aprofundar a reforma do sistema empresarial e do sistema de direitos de propriedade, além de enfatizar as funções de inovação das empresas, promovendo o rápido desenvolvimento do SNI tecnológico. No ano seguinte, foi inaugurada a Estratégia de Revitalização do país por meio de C&T e

Educação, levando a uma colaboração do Departamento de C&T e do Departamento de Economia para formular programas em conjunto. Os Centros Nacional de Engenharia, como os Centros Nacionais de Pesquisa em Engenharia e os Centros Nacionais de Pesquisa em Tecnologia de Engenharia e os Centros de Promoção de Produtividade, foram criados. Ademais, o Projeto de Inovação Tecnológica iniciou com o objetivo de aprimorar a capacidade de inovação das empresas, em um período em que diversas políticas foram lançadas com o objetivo de acelerar a comercialização de conquistas em P&D.

O ano de 1998 foi o início formal da construção do SNI da China. Em dezembro de 1997, a Academia Chinesa de Ciências divulgou um relatório ao governo chinês intitulado “Acolhendo a era da economia do conhecimento e construindo o SNI”, cuja aprovação por parte do governo exigiu que a Academia implementar o projeto de inovação do conhecimento como unidade piloto para a construção do SNI. Alguns anos depois, em 2006, a China lançou o Plano Nacional de Médio e Longo Prazo para o Desenvolvimento de C&T. Ademais, o país criou princípios orientadores de C&T para empresas para os 15 anos seguintes, dentre eles: inovação auto-dominante, saltando em campos prioritários, permitindo o desenvolvimento e liderando o futuro; aumentar visivelmente a capacidade de inovação auto-dominante; e juntar-se às fileiras dos países inovadores. Nesse período, a principal tarefa chinesa era construir um SNI tecnológico no qual as empresas poderiam ser o principal ator e as indústrias, universidades e institutos poderiam estar fortemente ligados, construir um SNI do conhecimento cuja pesquisa científica e a educação superior seriam combinadas, montar um SNI de tecnologia e ciência de defesa no qual os setores militares e civis juntaram seus trabalhos, criar sistemas regionais de inovação com suas próprias características e vantagens e confeccionar um sistema de serviço intermediário de inovação com características de socialização e *networking* (Song, 2013).

Após mais de 10 anos de desenvolvimento e especialmente após a entrada na Organização Mundial do Comércio em 2001, o SNI da China desenvolveu rapidamente e tornou-se um sistema composto com cinco subsistemas: o sistema de inovação de conhecimento, tecnológico, de defesa, e de serviços intermediários.

#### 4.2.2 CARACTERÍSTICAS

Com relação ao papel do Estado no SNI chinês, sob a liderança do Grupo Líder de C&T e Educação do Conselho Estadual, a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma é responsável pelo planejamento e administração de todas as empresas de C&T e inovação, em particular planejando e orçando todos os programas e projetos de C&T e implementando projetos de industrialização de alta tecnologia, projetos de infraestrutura de C&T, despesas básicas de operação de institutos de pesquisa, o Projeto de Inovação do Conhecimento, etc. Já o Ministério de Finanças lida com o orçamento de todos os projetos, planos e programas de C&T e a contabilidade de implementação dos mesmos. O Ministério de C&T foca na execução dos programas de C&T, o Ministério da Educação cuida do cultivo de recursos humanos e apoia a cooperação entre universidades e firmas, o Ministério da Indústria e Informação e o Ministério da Agricultura comandam a inovação e o desenvolvimento da indústria e da agricultura e, por fim, o Ministério do Comércio está comprometido com o estabelecimento de um sistema de mercado unificado, aberto, competitivo e organizado para promover um comércio doméstico e estrangeiro justo e que valorize a inovação. Além disso, ele é responsável por melhorar a estrutura e a competitividade dos produtos chineses de exportação através de um programa de C&T que promove o comércio com o Ministério de C&T.

Em 2011, a Academia Chinesa de Ciências implementou a terceira fase da engenharia de inovação do conhecimento, cujo objetivo é liderar e levar o SNI chinês a um novo patamar, encorajando inovação auto-dominante, inovação científica original e integração sistemática de tecnologias chave; atualizar a habilidade de resolução de problemas chave de C&T para o desenvolvimento social e econômico atual e futuro; aumentar a habilidade de oferecer base técnica e de conhecimento para implementar o conceito de desenvolvimento científico; e elevar a capacidade de salvaguardar a segurança nacional e responder à nova revolução mundial em assuntos militares.

As firmas também se tornaram um dos principais atores no SNI tecnológico. Em 2007, o número de pessoas trabalhando com P&D nas firmas era 68,36% de

todo o pessoal trabalhando com P&D no país. Já o gasto com P&D das empresas representava 72,28% de todo gasto com P&D no país (Song, 2013).

As características e vantagens do sistema regional de inovação foram formadas de forma gradual. Com base nos planos de desenvolvimento regional dos deltas dos rios Yangtze e Pearl, a China liberou aproximadamente 20 planos de desenvolvimento regional e cada um enfatiza a construção de capacidades de inovação e o desenvolvimento de um sistema de inovação regional. A China também estabeleceu 54 zonas de desenvolvimento industrial nacional de alta tecnologia e diversas zonas industriais de alta tecnologia. No começo de 2010, as zonas de alta tecnologia Zhongguancun (Pequim), Zhangjiang (Xangai) e Lago Leste (Wuhan) começaram a ser transformadas em zonas nacionais de demonstração de inovação auto-dominantes. Essas três zonas e as áreas piloto de reforma abrangente de inovação auto-dominante de Hefei, Wuhu, e Bengbu foram autorizadas a adotar novas políticas, como permitir que o inventor do serviço possuísse uma porcentagem de ações definitivas e o direito de dividendo do lucro líquido da empresa que implementa o serviço. Além disso, a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma e o Ministério de C&T apoiam o sistema de inovação regional através do investimento em instalações de inovação, projetos de P&D, inovação industrial, e mais.

O sistema integrado de inovação em defesa nacional civil-militar fez progressos. Em 1978, após a abertura e a reforma, a China introduziu mecanismos de mercado e promoveu cooperação civil e militar. Um grande número de firmas de defesa nacional começaram a produzir produtos civis ou foram transformadas em firmas inteiramente civis. Em 1992, o país implementou a estratégia de combinar os esforços militar e civil, e integrar as forças armadas ao civil e também promoveu a construção de um SNI de defesa, por meio da integração compreensiva civil-militar. Portanto, as forças tecnológicas e científicas do SNI de defesa foram elevadas significativamente. Em 1998, o antigo Comitê Nacional de Defesa, Ciência, Tecnologia e Indústria foi incorporado ao Ministério de Indústria e Informação e virou o Departamento de Desenvolvimento Industrial da Defesa Nacional de C&T, fortalecendo a construção e o desenvolvimento do SNI da China.

O SNI de serviço intermediário também foi rapidamente desenvolvido. De acordo com Song (2013), existem quatro principais tipos de organizações nele. O primeiro inclui centros de promoção de produtividade, centros de pesquisa em engenharia e tecnologia, centros de serviços de atendimento empresarial, que inclui incubadoras de empresas e aceleradoras, e centros de P&D e design. Estes promovem serviços para produção. O segundo tipo de organização inclui centros de pesquisa em informação, empresas de consultoria em tecnologia, centros de transferência tecnológica, centros de treinamento tecnológico, e centros de atendimento a pequenas e médias empresas. Eles propiciam serviços a toda sociedade. O terceiro inclui entidades de serviço, incluindo zonas de alta tecnologia, parques de C&T, parques pioneiros, e zonas de desenvolvimento tecnológico e econômico. O quarto promove serviços de mercado, incluindo mercados de tecnologia, de talento, entre outros. A China fez grandes esforços para aprimorar o ambiente de serviço de inovação nos últimos 30 anos. Todas as 54 zonas industriais de alta tecnologia a nível nacional tem suas próprias incubadoras e aceleradoras. Ademais, o país estabeleceu seis centros nacionais de transferência de tecnologia, incluindo a Academia Chinesa de Ciências, a Universidade de Tsinghua e a Universidade de Pequim.

Em 2006, visando colocar em prática a diretriz do Plano Nacional de Médio e Longo Prazo para o Desenvolvimento de Ciência e Tecnologia, a China emitiu 60 políticas suplementares em 10 partes, que foram bem recebidas tanto pelas empresas quanto pela sociedade. As políticas de investimento em C&T incluem seis aspectos: aumentar o volume de investimento público e privado em C&T; assegurar crescimento estável do investimento financeiro público em C&T; salvaguardar seriamente a implementação suave de 16 Mega Projetos de C&T; otimizar a estrutura de investimento financeiro em C&T; desempenhar um papel de liderança no fornecimento de fundos financeiros para incentivar a inovação auto-dominante da empresa; e otimizar o mecanismo de gestão de investimentos em C&T.

Novas leis e políticas fiscais cancelam o limite de taxa de crescimento anual de 10% das despesas de P&D e permite que as empresas deduzam suas despesas reais de P&D e amortizem os ativos intangíveis no lucro tributável das empresas em 150%. As despesas reais de P&D podem ser transportadas e deduzidas nos 5 anos seguintes se forem dedutíveis por déficit. Os fundos de educação e formação dos

trabalhadores extraídos em menos de 2,5% do total dos salários tributáveis podem ser deduzidos antes dos impostos sobre o rendimento das pessoas coletivas. As empresas podem acelerar a depreciação dos instrumentos e equipamentos utilizados nas atividades de P&D. A taxa de imposto de renda das empresas de alta tecnologia foi reduzida de 25% para 15%, uma vez que tiveram um ano lucrativo dentro dos 2 anos após a certificação pelo governo.

As políticas de investimento e financiamento regulam e fortalecem o apoio financeiro à inovação auto dominante, lidera o apoio financeiro comercial à inovação auto dominante, melhor os serviços financeiros para a inovação das Pequenas e Médias Empresas (PME), acelera o desenvolvimento do capital de risco, estabelece um mercado de capitais de apoio à inovação auto-dominante e melhora os serviços de seguros e políticas de gestão de câmbio para empresas de alta tecnologia.

Já as políticas de compras governamentais exigem o estabelecimento de um sistema de certificação de produtos de inovação auto dominante e um sistema de avaliação padrão e certificado para melhorar o método de avaliação de compras governamentais, dar tratamento preferencial aos produtos de inovação auto dominante e estabelecer a primeira compra e pedido do governo sistema para incentivar a inovação, além de estabelecer um sistema de certificação para bens domésticos e um sistema de auditoria para comprar produtos estrangeiros, e desempenhar o papel na aquisição de defesa nacional para apoiar a inovação auto-dominante. A China emitiu o conceito e padrão do produto de inovação auto dominante em 2010 que deve ter direito de propriedade intelectual ou direito de uso licenciado do exterior na China, e tem direito de marca registrada ou direito de uso licenciado do exterior na China de acordo com a lei. Mas o país abandonou as políticas governamentais sobre produtos de inovação auto dominantes em 2011 sob pressão internacional.

Ademais, a China emitiu políticas para fortalecer a importação, digestão, absorção, criação e proteção do direito de propriedade intelectual, cultivando e utilizando talentos inovadores, fortalecendo a educação e a popularização da ciência e promovendo a construção de bases de inovação em C&T e infraestruturas.

### 4.2.3 DÉFICTS E PROBLEMAS NO SNI CHINÊS

Embora a China tenha feito grandes progressos na construção de um SNI, ainda existem muitas deficiências e problemas que desafiam o desenvolvimento futuro (Song, 2013). A primeira é que a alocação de órgãos governamentais e funções governamentais não atendeu integralmente à demanda do sistema nacional de inovação. A pesquisa científica está fora de contato com a educação e a inovação tecnológica está fora de contato com a economia. Existem muitos departamentos governamentais responsáveis pela inovação, sendo que as políticas de inovação vêm de muitos departamentos. A atividade de inovação tem sido dominada principalmente pelo governo e a comunidade científica e tecnológica tem impacto limitado nas atividades de inovação. Algumas das funções governamentais de inovação são sobrepostas, coexistentes ou até ausentes, como por exemplo, muitos departamentos têm quase a mesma função de industrialização, embora sejam chamados de industrialização de realizações de C&T, industrialização de patentes, industrialização de alta tecnologia e otimização e atualização da estrutura industrial. O governo da gestão da inovação carece de supervisão do público e as funções do serviço de inovação do governo são inadequadas.

A segunda é a das empresas como principais agentes da inovação no SNI. Embora se possa dizer que as empresas têm sido o principal ator na inovação com base em dados como investimento em P&D e número de pedido de patente, também pode-se constatar que as empresas não são o verdadeiro ator principal do ponto de vista da tomada de decisão em torno da própria inovação, de grande parte da alocação de recursos de inovação do governo e de talentos inovadores de alto nível, incluindo aqueles que têm mestrado ou doutorado. A existência de indústrias lucrativas, de baixo custo, com comportamento *rent-seeking* e a implementação inadequada das políticas de inovação, juntamente com uma cultura de inovação não está totalmente formada, influencia as empresas que não são suficientemente dinâmicas para empreender a inovação. As políticas de investimento, políticas comerciais e políticas de proteção à propriedade intelectual não são suficientemente coordenadas com as políticas de inovação. As políticas de propriedade intelectual enfatizam mais as regras internacionais e os números crescentes de aplicativos e menos ênfase na qualidade e utilização.

A terceira é a alocação de recursos de inovação. O investimento em infraestrutura de inovação, como grandes instalações científicas ou de engenharia, laboratórios, bancos de dados de pesquisa de engenharia e bancos de dados de dados e informações, é inadequado. Os recursos de inovação, como infraestrutura de C&T, bases de inovação e fundos de P&D, são implantados mais nas regiões leste e costeiras e grandes cidades e menos nas cidades de médio porte e regiões oeste. A proporção para pesquisa básica de financiamento de P&D tem sido inferior a 10% do total de gastos em P&D por muitos anos. Como a maior parte do investimento em P&D vem do governo, muitos institutos se concentram mais em tecnologias genéricas industriais ou tecnologias críticas e essenciais e menos em novos produtos e tecnologias necessários às empresas. Enquanto isso, os recursos governamentais de inovação são investidos mais em instituições de pesquisa e universidades e menos em empresas. A divisão do SNI é favorável para alguns departamentos e instituições adquirirem recursos governamentais de inovação, mas este método de divisão limita a capacidade das empresas de serem o ator principal em todo o sistema nacional de inovação.

A quarta é a gestão do financiamento de C&T e inovação. O problema mais importante é a falta de abertura ao público e transparência, já que a despesa dos fundos dos projetos não é suficientemente aberta e justa. A maioria dos projetos de tecnologia são obrigados a solicitar financiamento por subprojetos e competir uns contra os outros, e é difícil formar uma força coesa para a inovação. A tomada de decisão, gestão e supervisão da alocação de fundos de C&T e inovação são executadas por apenas um departamento, afetando a eficiência do uso do fundo. Um pequeno número de funcionários administrativos têm a palavra final sobre a alocação de recursos de C&T e inovação, e falta a participação de grupos de especialistas e do público.

A quinta é a implementação das políticas de inovação. Não existem regulamentos de implementação e políticas de apoio à Lei do Progresso Científico e Tecnológico e à Lei de Promoção da Transformação da Realização Científica e Tecnológica. Assim, não há regulamentações detalhadas para instituições de pesquisa, transferência de tecnologia, gestão de fundos de C&T e invenção de serviços e não serviços. A baixa taxa de transferência de tecnologia também tem sido um sério problema não resolvido. A implementação de políticas como o

crescimento estatutário do financiamento de ciência e tecnologia, dedução de despesas de P&D antes do imposto corporativo em 150% e compras governamentais para produtos de inovação auto-dominantes ainda encontrou muitas dificuldades, mas há medidas menos eficazes. Não existem políticas fiscais de valor agregado preferenciais ou políticas fiscais de negócios para inovação auto dominante e produtos de direitos de propriedade intelectual auto-dominantes. Não há políticas de exame rápido sobre direitos de propriedade intelectual, que são essenciais para a inovação, como PMEs e empresas de alta tecnologia. A condição e o tratamento dos talentos empresariais são precários em termos de registro de domicílios, previdência social e outros aspectos.

A sexta e última é a construção da cultura de inovação. Não houve progresso notável na construção da cultura de inovação. As culturas burocrática, falsificadora e impetuosa sufocam, prejudicam e restringem a construção da cultura da inovação. A comunidade científica está longe de estar estabelecida, o desenvolvimento da ética científica fica para trás e a proteção dos direitos de propriedade intelectual tem um longo caminho a percorrer. A sociedade em geral tem apenas uma fraca consciência da cultura da inovação. Existem grandes lacunas entre o atual modelo de criação de talentos criativos, o desenho do currículo, a configuração dos professores e as condições de educação e a demanda do país inovador. Investimento e financiamento, especialmente capital de risco, também são menos desenvolvidos.

### **4.3 O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO JAPONÊS**

O governo japonês acredita que a inovação será capaz de resolver os problemas que enfrentaremos no futuro. Portanto, o país está comprometido a ser o primeiro país a provar que será possível crescer através da inovação mesmo enquanto sua população decresce (Carraz e Harayama, 2019).

#### *4.3.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA*

Do ponto de vista da inovação, o Japão foi bem sucedido desde a década de 1960 até a década de 1980 ao tentar alcançar as nações mais tecnologicamente avançadas, conhecida como estratégia de *catch-up*, devido principalmente aos programas governamentais de incentivo à pesquisa, os “Grandes Projetos”. Entretanto, quando grande parte das indústrias já haviam alcançado a fronteira tecnológica nos anos 1980, tornou-se aparente a necessidade de mudanças nas políticas de ciência, tecnologia e inovação. Quanto mais perto da fronteira tecnológica um país está em qualquer indústria, mais difícil é explorar o *pool* tecnológico do conhecimento, resultando em maiores dificuldades para o governo criar e administrar novos projetos de pesquisa (Carraz e Harayama, 2019).

Desde a década de 1990, o P&D japonês mostra uma queda nas capacidades de intervenção direta do governo, quando diversos setores da indústria saíram da posição de seguidores para pioneiros tecnológicos. Isso mostra que o governo perdeu seu papel de sinalizador e direcionador do desenvolvimento de importantes áreas de pesquisa, uma vez que o objetivo já não era mais transferir e adaptar tecnologias do Oeste.

Subindo a escada tecnológica, o governo do Japão tem alvejado cada vez mais indústrias que são baseadas na ciência para neutralizar a perda de empregos industriais em setores intensivos em mão de obra. Essas indústrias são caracterizadas por fortes ligações com o conhecimento científico e a principal fonte de tecnologia está nas atividades de P&D das firmas, cujo P&D dependem do desenvolvimento de ciência nas universidades e laboratórios públicos. Essa mudança de orientação foi um desafio para as empresas, já que elas tiveram que mudar da estratégia de *catch-up* para uma estratégia a qual procura por tecnologias inovadoras e parceiros de conhecimento externos, além de implicar mudanças não apenas nos campos de P&D, mas também na maneira como o P&D era concebido, planejado e administrado, de modo que o “Grande Projeto”, o ponto de referência no sistema de pesquisa japonês, teve que ser reestruturado.

As firmas lidaram com essa demanda por tecnologias baseadas na ciência construindo capacidades de pesquisa substanciais e aumentando cooperações de pesquisa entre universidades e outras instituições de pesquisa externas. Consequentemente, a pesquisa industrial nesses setores é ligada a crescentes

contribuições de pesquisas acadêmicas para P&D industrial e desenvolvimento de produtos. A novidade é que a descentralização do processo de inovação se tornou aparente nessas indústrias com uma crescente dependência de parceiros externos.

#### 4.3.2 MUDANÇA DE PARADIGMA

Desde do estouro da bolha financeira e imobiliária na década de 1990, a economia japonesa tem sido confrontada por um desaquecimento da economia, o esvaziamento de algumas de suas instalações de produção, desafios demográficos e aumento da competição econômica e tecnológica devido a outros países, em especial em outras partes da Ásia. Com o objetivo de combater esses problemas, os formuladores de política têm concentrado esforços em políticas de ciência, tecnologia e inovação e em elevar os gastos públicos nesta área como parte de uma estratégia de longo prazo que apoia o crescimento econômico (Carraz e Harayama, 2019).

Nesse sentido, a promulgação da "Lei Básica de Ciência e Tecnologia", ou apenas a Lei Básica, em 1995 simbolizava o comprometimento das firmas em promover P&D, determinado seus princípios básicos e o demandou que o governo japonês aumentasse seus gastos relacionados à ciência e tecnologia. A Lei Básica também requer que o governo desenvolva e implemente um Plano Básico de Ciência e Tecnologia, ou apenas Plano Básico, cujo objetivo é o governo identificar áreas de pesquisa importantes, atores e condições estruturais, assim enquadrando as aspirações domésticas e expectativas dos atores do sistema.

Em 1996, foi implementado o Primeiro Plano Básico de Ciência e Tecnologia, que durou até 2000. Ele expressava o objetivo de promover um novo sistema de P&D para o país, objetivo que foi atingido através da expansão do aparato já existe de pesquisa, além do reforço das ligações entre universidades e empresas, expansão e apoio financeiro para programas de intercâmbio internacionais, a comercialização de ativos intelectuais, apoio a jovens pesquisadores e aumento do financiamento de bolsas de pesquisa competitivas. Os planos seguintes acresceram o objetivo social de melhorar a comunicação entre sociedade e ciência, criação de

um ambiente mais inclinado a ajudar cientistas a alcançarem resultados de pesquisa de alta qualidade, e a promoção de políticas de inovação as quais incentivavam o uso de ciência, tecnologia e inovação no auxílio de desafios sociais e econômicos.

O governo japonês visava limitar o número de áreas de pesquisa e sujeitos, uma vez que o objetivo do programa era promover atividades de P&D que apoiem políticas prioritárias na resolução de problemas nacionais e sociais, incluindo o aprimoramento da competitividade internacional, medidas para combater problemas ambientais e o envelhecimento e a baixa taxa de natalidade da sociedade japonesa. O Plano também almejava fomentar áreas de ciência e tecnologia cujo crescimento rápido era esperado no futuro, enquanto tentava assegurar recursos para promover pesquisa básica. Na prática, há quatro domínios prioritários ao governo: ciências naturais, incluindo biotecnologia, tecnologia da informação (TI), ciências ambientais e novos materiais.

#### *4.3.3 UMA ESTRATÉGIA DE INOVAÇÃO MAIS COMPREENSIVA*

Em termos da supervisão da política de ciência e tecnologia, o Conselho de Política de Ciência e Tecnologia (CPCT) foi fundado em 2001, situado acima dos ministérios individuais e, portanto, equipado com mais competências, ao contrário do antigo Conselho de Ciência e Tecnologia. Ele foi criado com o objetivo de formular e coordenar todas as políticas de C&T no Japão.

Em 2013, o Primeiro Ministro japonês, em vista da formulação da Nova Estratégia de Crescimento, designou ao CPCT a elaboração da Estratégia Compreensiva de Ciência, Tecnologia e Inovação, adotando uma nova estrutura de ciência, tecnologia e inovação, além dos Planos Básicos. A primeira Estratégia foi adotada no mesmo ano e foi guiada por três princípios: agir inteligente, implementar um sistema de pensamento, e pensar globalmente. Ela também é composta por três pilares: grandes desafios políticos, reformas estruturais do SNI, e fortalecimento do CPCT. Quanto ao último pilar, o CPCT propôs se equipar com novas competências, por meio de designação e implementação de programas promovendo inovação com

seu orçamento, com a meta de melhor direcionar os esforços feitos no nível ministerial. Assim, ocorreu a revisão do ato que criou o CPCT, ou seja, sua base legal, e a aprovação no parlamento das emendas propostas adicionais, inclusive a mudança para o nome "Conselho de Ciência, Tecnologia e Inovação" (CCTI), destacando o caráter inovador das políticas.

Em 2014, o CCTI criou o "Programa de Promoção de Inovação Estratégica entre Ministérios", o qual permitiu que o problema de futuros desafios fosse atualizado e consolidado. No que diz respeito às reformas estruturais, o CCTI propôs tomar medidas para ampliar oportunidades para desafios e interações, criando pontes entre ideias, facilitando a mobilidade de pessoas e criando diferentes tipos de hubs de inovação. Ele também tentou promover pensamento disruptivo, colocando um programa recentemente criado, o "Impulsionando Mudança de Paradigma Através do Programa de Tecnologias Disruptivas", centrando-o nas suas ferramentas de política. O programa visa gerar inovações pioneiras, que podem trazer mudanças drásticas para as indústrias e a sociedade, caso aconteçam. Através do programa, o CCTI espera que inovações de novas gerações sejam criadas mediante investimento em P&D de alto risco e de alto impacto. Por conseguinte, esses dois programas fizeram o CCTI equipado para experimentação de políticas.

## 5 O SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO AMERICANO

Segundo o Departamento de Estado dos Estados Unidos da América (EUA), ciência, tecnologia e inovação são pilares da economia americana, além de serem forças dominantes na sociedade moderna e no desenvolvimento econômico internacional. Eles prezam pelo fortalecimento dessas áreas, com o intuito de promover sistemas de governança abertos, transparentes e meritocráticos em todo o mundo. Por isso, é de suma importância entender o funcionamento do SNI norte-americano (Atkinson, 2014).

### 5.1 HISTÓRIA

Nos últimos 150 anos, os EUA passou de um país atrasado para uma posição de preeminência indiscutível no que diz respeito a ciência e tecnologia. Mesmo nem sempre sendo assim, o país, atualmente, possui a economia mais inovadora do mundo e suas empresas impulsionam a inovação global e o desenvolvimento de tecnologias avançadas e emergentes.

#### *5.1.1 1870-1940: desenvolvimento inicial do complexo de inovação científica*

Desde o começo da república até o fim da Segunda Guerra Mundial, as universidades americanas tinham a reputação de serem orientadas para a prática e vocação. Elas atendiam às necessidades da sua comunidade ensinando disciplinas como agricultura e economia doméstica, enquanto pesquisa e treinamento também tendiam a refletir as demandas das indústrias locais. Pela década de 1920, a Universidade de Akron, por exemplo, treinou pessoas para a indústria de borracha local e tornou-se conhecida por sua pesquisa sobre o processamento de borracha. Da mesma forma, as universidades do Kentucky e da Carolina do Norte fizeram um trabalho extensivo no desenvolvimento de tecnologias para a indústria do tabaco. Cientistas da Universidade de Oklahoma foram pioneiros no uso de sismologia de reflexão para a exploração de gás e petróleo nos anos 1920 e até hoje possuem um dos principais programas de engenharia de petróleo nos EUA. Apesar disso, as

universidades americanas ficaram bem atrás quando comparadas com suas principais contrapartes europeias em termos de qualidade de pesquisa e, notavelmente, a maioria dos maiores cientistas da América obteve seu treinamento na Europa.

O estreito vínculo entre as universidades e as comunidades locais foi consequência do financiamento federal restrito, aumentando a dependência das universidades do financiamento estatal e industrial. Até a década de 1920, a conexão era tão estreita que uma parcela da pesquisa universitária era essencialmente voltada para a solução de problemas industriais. Ligações entre universidades e a indústria eram evidentes no setor farmacêutico, no qual empresas como Squibb, Eli Lilly, Merck e Upjohn apoiaram diversos programas de pesquisa. Em outras indústrias, como a de ferrovias, refinamento de petróleo e iluminação elétrica, as empresas dependiam de inventores independentes, mas também tentavam engajar cientistas universitários como consultores. Após a Segunda Guerra Mundial, o apoio federal à pesquisa básica aumentou, mas falhou ao tentar criar um laboratório nacional de pesquisa voltado à pesquisa básica, como visto na Alemanha.

Os investimentos corporativos em laboratórios próprios da empresa também foram inicialmente modestos (Atkinson, 2014). As principais empresas americanas do período de 1870-1880, como as companhias ferroviárias e a Western Union, dependiam primordialmente de invenções externas. No entanto, durante a década de 1870, as grandes empresas ferroviárias começaram a empregar engenheiros com formação universitária para realizar testes e coletar dados sistematicamente. Com o passar do tempo, foi estabelecido laboratórios industriais com o objetivo de avaliar a qualidade dessas invenções externas e outros insumos, como por exemplo o laboratório químico da Pennsylvania Railroad em Altoona, que se concentrou na padronização e teste de suprimentos como trilhos de aço e óleos lubrificantes. Ou seja, quando houve inovação, ela foi de natureza incremental e apesar da empresa ter sido rápida na adoção de inovações importantes, elas vieram principalmente de inventores independentes.

Tal divisão entre o trabalho inovador entre grandes corporações, voltadas para aperfeiçoamentos e comercialização, e pequenas empresas e inventores

individuais, voltadas para invenção, foi sustentada por um dinâmico mercado de tecnologia, principalmente no período 1880-1920. Entretanto, durante o período entre guerras, as corporações cresceram e ficaram mais ansiosas para controlar e rotinizar a inovação. Além disso, decresceu sua predisposição a confiar em inovações externas pelas mais variadas razões, incluindo a crescente competição entre produtos e mercados, tornando a pesquisa uma fonte mais importante de vantagem competitiva; pressões antitruste, que reduziram fontes alternativas de crescimento além da pesquisa interna; e os crescentes custos de invenção o que tornou difícil para os inventores continuarem a operar independentemente. Por conseguinte, os investimentos corporativos em pesquisa corporativa cresceram rapidamente.

#### *5.1.2 1940-1980: Era da “Big Science” e o Relatório Bush*

A vitória da Segunda Guerra Mundial, atribuída em parte à habilidade do governo dos EUA em mobilizar a comunidade científica do país e canalizar um esforço massivo de pesquisa para propósitos militar e industrial, foi um momento divisor de águas para a ciência americana. A bomba atômica foi o exemplo mais proeminente do poder da ciência, mas desenvolvimentos como o radar e a produção em massa da penicilina também tiveram um papel importante. O resultado foi um melhoramento significativo no status da ciência e cientistas, juntamente com tomadores de decisão, gerentes e o público geral. O efeito na escala e organização da atividade científica foi de longe alcance.

No período entre 1945 a 1950, os Estados Unidos desenvolveram o SNI mais eficaz do mundo, por meio de um conjunto de políticas e grande investimento governamental em P&D, focado em manter uma vantagem tecnológica e militar sobre a União Soviética. Devido a necessidade de melhor organizar a ciência e a tecnologia, o então presidente norte-americano Franklin Roosevelt enviou ao diretor do Escritório de Pesquisa Científica e Desenvolvimento, Vannevar Bush, uma carta, na qual ele aponta o sucesso do Escritório na aplicação de conhecimento científico existente para a solução de problemas técnicos fundamentais na guerra e pergunta

como fazer o mesmo em tempos de paz. Em resposta à demanda do presidente, Bush coordenou a elaboração e apresentou o relatório “Ciência: a fronteira sem fim”, também conhecido como Relatório Bush, no dia 25 de julho de 1945 ao novo presidente Harry Truman. A proposta elaborada por Bush, legitimada por um debate de quatro comitês compostos por líderes da pesquisa acadêmica e industrial nos Estados Unidos, demonstrava confiança no poder da ciência e o papel decisivo que ela já desempenhava para diferentes esferas do país, como saúde, segurança nacional e emprego.

O Relatório Bush reconheceu que, no período pós-guerra, os Estados Unidos não poderiam continuar contando com a Europa como uma “fonte de capital científico” (Bush, 1945), sendo que para aumentar esse capital científico seriam necessários dois fatores. O primeiro é o treinamento de homens e mulheres na ciência, pois depende-se deles para a criação de novos conhecimentos e suas aplicações na prática. O segundo fator é a necessidade de fortalecer os centros de pesquisa básica, principalmente as faculdades, as universidades e os institutos de pesquisa, que fornecem um ambiente mais propício à criação de novos conhecimentos científicos e onde há menos pressão para obter resultados imediatos e tangíveis. Segundo Bush (1945), a maior parte da pesquisa feita nas indústrias e no governo envolve a aplicação de conhecimento científico pré-existente para problemas práticos e apenas faculdades, universidades e alguns institutos de pesquisa voltam a maioria dos seus esforços em pesquisa para expandir fronteiras do conhecimento. Cruz (2014) aponta como ponto relevante no relatório a importância estratégica dada à pesquisa básica, definida como pesquisa realizada sem considerações quanto à finalidade prática e que resulta em conhecimento abrangente e em entendimento da natureza e suas leis. Além disso, Bush (1945) recomenda a criação de um programa de bolsas para estudantes da graduação e da pós-graduação, com destaque para o papel da seleção por mérito, a fim de melhorar o ensino de ciências.

No documento, o autor propõe uma nova forma de organizar o sistema de pesquisa norte-americano através da indústria, universidades (principal sede para a pesquisa básica), laboratórios governamentais e o próprio governo, financiando e planejando as diversas partes do sistema. Dessa forma, o relatório defende a

presença estatal no financiamento à ciência, com o objetivo de apoiar e estimular a abertura de novas fronteiras, mas que a liberdade de pesquisa deve ser preservada.

Em 1946, o congresso criou a Comissão de Energia Atômica, além de um sistema de laboratórios nacionais. O Departamento de Defesa fundou o primeiro *Federally Funded Research and Development Center* (Centros de Pesquisa e Desenvolvimento Financiados pelo Governo Federal, FFRDC) e as *University Affiliated Research Centers* (Centros de Pesquisa Afiliados à Universidade) em 1947. O congresso aprovou o Ato de Produção de Defesa em 1950 e também criou a Fundação Nacional de Ciência. A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA) e a Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA) foram criadas em 1958.

Além disso, o apoio federal para P&D em universidades expandiu rapidamente. Dados da Fundação Nacional de Ciência (Arora et al., 2019) apontam que o apoio federal para P&D acadêmico cresceu seis vezes entre 1955 e 1965 e duplicou nas duas décadas seguintes. Vale notar que foi nas décadas de 1960 e 1970 que o apoio federal à P&D acadêmico como uma porcentagem do todo atingiu seu ápice. Em 1980, 13,2% do desempenho de P&D estava localizado nas universidades, enquanto 12,2% estava localizado no setor público e 71,1% na indústria.

O financiamento público com P&D era direcionado principalmente à pesquisa básica, em especial às pesquisas de ciências biomédicas e de tecnologias relacionadas à defesa. Durante o fim da década de 1950, os gastos relativos à defesa representavam até 80% dos gastos federais em P&D. Os gastos maciços em armamento e P&D relacionado à defesa posicionou os EUA como líderes em diversas indústrias avançadas, como aeroespacial, eletrônica, máquinas-ferramentas, entre outras. No início dos anos 1960, o governo federal americano já havia investido mais em P&D do que qualquer outro governo ou empresa juntos.

O financiamento público com P&D também transformou a composição da P&D em universidades. Enquanto as ligações entre universidades e indústrias continuaram fortes nos EUA, tornou-se a missão primária das universidades avançar nas fronteiras do conhecimento. Dados da Fundação Nacional da Ciência mostram

que a porcentagem de pesquisa básica em toda a P&D acadêmico cresceu de 52% em 1955, para 69% em 1960, e 76,5% em 1965. Já pela segunda metade da década de 1960, as universidades americanas obtiveram o status de líderes mundiais na maior parte das áreas da ciência e estudantes europeus iam para os EUA para obter seus diplomas de graduação, revertendo um padrão antes observado.

A crescente aplicabilidade prática dos recém-descobertos princípios científicos, invenções de referência, como a válvula termiônica, rádio, borracha sintética, e nylon), e o rápido incremento no financiamento governamental americano, também levaram a mais firmas investindo em pesquisa corporativa no período pós-guerra. Os iniciais sucessos comerciais de descobertas científicas, como Du Pont e General Electric, levaram credibilidade à ideia de que investimentos em pesquisa poderiam ser uma fonte de vantagem competitiva. Evidência das 200 maiores firmas de manufatura dos EUA indicam que, no decorrer da Segunda Guerra Mundial (1921-1946), investimentos em P&D tendiam a reforçar a posição das firmas dominantes (Arora et al., 2019). Corporações como AT&T, Merck, IBM, e Xerox adotaram a ideia de que pesquisa era a chave para o crescimento. No fim dos anos 1960, o laboratório da AT&T, conhecido como Bell Labs, empregavam 15.000 funcionários, dos quais 1.200 possuíam PhD. Dentre seus funcionários, 14 foram ganhadores do Prêmio Nobel e 5 receberam o Prêmio Turing e dentre as inovações atribuídas aos seus cientistas, há o transistor, a fibra ótica, lasers, telefonia celular, a linguagem de programação C e o sistema operacional Unix.

O financiamento federal de pesquisa criou um ambiente propício à inovação e teve um papel fundamental em tornar os EUA líder em diversas indústrias, como *software*, *hardware*, aviação e biotecnologia. Ele também possibilitou o desenvolvimento de tecnologias civis usadas até hoje, como por exemplo a Internet, o GPS, luz de LED, microondas, radar, computadores em rede, comunicação sem fio, entre outras. Na sua maioria, as pesquisas foram financiadas através de agências orientadas à missões que buscavam conquistar uma missão federal particular, como defesa, saúde ou energia, e através de um sistema de financiamento de pesquisa básica revisado por pares em universidades.

A promoção de inovação e produtividade no pós-guerra como um objetivo econômico foi amplamente ignorada e até mesmo rejeitada no período pós-guerra.

Houveram esforços ocasionais durante os governos Kennedy, Johnson e Nixon, mas foram de pequena escala e majoritariamente de curta duração. Em 1963, o governo Kennedy propôs o Programa de Tecnologia Industrial Civil, com o propósito de equilibrar o foco primordial da P&D federal na defesa e na exploração espacial, aumentados pela Guerra Fria, através de financiamento à universidades para fazerem pesquisas que auxiliassem a inovação em setores que podem ajudar a sociedade, como produção de carvão, habitação e têxtil. Em parte por causa da oposição da indústria que temia tecnologias disruptivas, a proposta não foi aprovada. Dois anos depois, o governo Johnson conseguiu que a proposta fosse aprovada, mas apenas depois de fazer uma série de mudanças. O novo programa, Serviços Técnicos Estaduais, financiava centros de extensão de tecnologias localizados em universidades em estados que trabalhariam com empresas de pequeno e médio porte para ajudá-los a utilizar novas tecnologias. O programa foi eliminado por Nixon, apesar de seu sucesso. O governo Nixon acabou por criar seu próprio programa, o Programa de Novas Oportunidades Tecnológicas, que acabou não sendo aprovado pelo congresso.

Portanto, as tentativas feitas pelo governo federal para apoiar a inovação comercial não foram bem sucedidas. Elas não foram guiadas por nenhuma visão ou missão primordial, ao contrário dos esforços do governo para desenvolver tecnologia de defesa e espaço, motivados pela necessidade de responder à ameaça soviética.

Entretanto, o sistema começou a mudar gradualmente no final dos anos 1970, com a emergência de desafios competitivos de outras nações, como Alemanha, França e Japão. O país percebeu que P&D e inovação eram os condutores da Nova Economia. Motivado pela recessão de 1974, o presidente Jimmy Carter passou a focar em maneiras de promover tecnologia, inovação e competitividade. Assim, uma série de políticas de inovação foram aprovadas no congresso, criando diversos programas para impulsionar a inovação. Além disso, foi implementado o crédito fiscal de P&D e reduzido os ganhos de capital e as taxas de imposto corporativo.

### *5.1.3 1980 até hoje: inovação aberta e o fim do laboratório corporativo*

Os anos 1980 foram caracterizados por importantes desenvolvimentos institucionais. O Ato Bayh-Dole de 1980, que garantia que instituições acadêmicas fossem proprietárias de patentes geradas pela ciência financiada por dinheiro público, encorajando universidades americanas a se tornarem mais engajadas na comercialização da sua pesquisa. Diversas reformas de patente e administrativa, como a criação em 1982 de apelações judiciais pró-patentes, fortaleceram os direitos de propriedade intelectual, promovendo atividade empreendedora e mercados de tecnologia. Apoiadas pelo capital de risco, as bem-sucedidas Ofertas Públicas Iniciais (IPO) da Genentech em 1980, 3Com em 1984, e Sun Microsystems e Oracle em 1986 contribuíram para o crescimento da indústria de capital de risco, fornecendo startups baseadas em ciência com uma nova e potencial valiosa fonte de capital.

Ao mesmo tempo, percepções da rentabilidade de pesquisa corporativa começaram a mudar. Casos de sucesso como a Du Pont começaram a ser esquecidos. A Xerox foi considerada como um exemplo mais paradigmático, por sua incapacidade de lucrar com as diversas invenções geradas no seu laboratório PARC Lab. A literatura da época enfatizava a visão de que grandes empresas eram frequentemente burocráticas e míopes, e que, portanto, suas pesquisas beneficiariam principalmente outras firmas, como startups. Desta maneira, o gasto corporativo em pesquisa começou a decair. A parcela de pesquisa básica e aplicada em P&D corporativo caiu de 28% em 1985 para menos de 20% em 2015 (Arora et al., 2019).

Dado que a ciência continua a ser útil para invenção, a queda em publicações corporativas pode refletir um aumento da dependência de conhecimento externo para as grandes corporações. As corporações podem se retrair da pesquisa, uma vez que uma grande parcela de pesquisa útil está sendo produzida por instituições externas. (Arora et al., 2019) mostra que o decréscimo em publicações corporativas está relacionado a uma redução no uso de pesquisa interna e um aumento no uso de ciência externa, mensurado por citações em publicações científicas de patentes corporativas. Entretanto, pesquisa externa e invenção podem ser financiadas por grandes firmas, através de colaborações entre universidades e indústria, licenciamento e contratos, investimento de capital de risco corporativo, ou aquisições. Assim, grandes firmas podem estar se retraindo de pesquisa interna

para concentrar no desenvolvimento, enquanto absorvem pesquisa externa de universidades e startups.

O desenvolvimento institucional do início dos anos 1980 criou um ecossistema no qual pesquisa de universidades e startups geradas por universidades é mais abundante e embalado, ou seja, é de mais fácil absorção para as grandes firmas. Universidades americanas começaram a registrar patentes a uma taxa crescente, de 5.000 patentes em 1995 para mais de 20.000 em 2015. A receita de licenciamento cresceu de menos de 600 milhões de dólares em 1995 para quase 2 bilhões em 2015. O número de startups formadas usando invenções universitárias mais do que quadruplicou durante o mesmo período, de menos de 200 em 1995 para mais de 900 em 2015. Universidades produziram quase 75% da produção acadêmica de 2013, acima dos 69% em 1999.

Dentre as corporações, a contribuição de grandes empresas para pesquisa e inovação decaiu e a contribuição de pequenas empresas aumentou. A Fundação Nacional da Ciência indica que firmas com mais de 10.000 funcionários representavam 73% da P&D não financiada federalmente em 1985. Em 1998, essa parcela caiu para 54%, e para 51% em 2008.

Uma classe importante de pequenas empresas são as startups financiadas pelo capital de risco. Esse tipo de capital financia apenas uma pequena parcela de todas as novas firmas. Entretanto, são elas que estão entre as empresas que crescem mais rápido e que têm melhores desempenhos. Nos EUA de 1999 a 2009, mais de 60% dos IPO originados de startups industriais receberam financiamento de capital de risco. Essas firmas também são inovadoras distintas, evidenciado pelo fato que, na média, um dólar de capital de risco resulta em três ou quatro vezes mais patentes do que o dólar de P&D corporativo tradicional, sugerindo uma eficiência superior em invenção, além de maior foco em produto, ao invés de processo, criado por invenção de startups financiadas por capital de risco.

De uma maneira geral, a evidência do período 1980-2006 é consistente com a divisão de trabalho na qual universidades se especializam em pesquisa, pequenas startups convertem novas descobertas promissoras em invenções, e grandes e mais bem estabelecidas firmas especializam em desenvolvimento de produto e

comercialização. Nessa visão, pequenas firmas têm a vantagem comparativa em experimentar e gerar inovações, enquanto grandes firmas têm a vantagem de explorá-las. Grandes empresas podem investir em capacidades científicas para serem compradores eficientes de conhecimento.

Do ponto de vista governamental, o colapso da União Soviética eliminou o que foi a principal motivação para a cooperação e atividade bipartidária para garantir que os EUA fossem a principal potência tecnológica do mundo. Outras prioridades, como equilibrar o orçamento e aumentar os gastos com serviços sociais superaram a necessidade de inovação nacional. Assim, os gastos federais em política de inovação diminuíram gradualmente.

Apesar dos problemas enfrentados pela competitividade industrial causados pela perda de competitividade internacional, a tecnologia da informação (TI) entrou em uma nova fase, com processadores mais potentes, a implementação em larga escala de redes de telecomunicações de banda larga rápida e ascensão das plataformas de redes sociais. Além disso, houve o florescimento do Vale do Silício como uma potência tecnológica, a revolução da Internet e a criação de empresas como Apple, Cisco, IBM, Intel, Microsoft e Oracle. Portanto, os formuladores de políticas entendem que a TI era um fator chave de crescimento e competitividade, e que uma política econômica eficaz agora precisava fazer uma política de TI eficaz.

## **6 O MODELO DARPA**

A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA) tornou-se um “ícone de inovação”, amplamente reconhecida por desempenhar um papel importante na criação e demonstração de muitas novas tecnologias não só inovadoras, mas também disruptivas. Algumas dessas tecnologias têm aplicações estritamente militares, como munições furtivas e guiadas com precisão, enquanto outras são “tecnologias de uso duplo” que beneficiaram tanto o mundo civil quanto o Departamento de Defesa. Exemplos dessas tecnologias incluem a Internet, receptores do Sistema de Posicionamento Global (GPS), software de reconhecimento de voz, processos avançados de fabricação de semicondutores e veículos aéreos não tripulados.

### **6.1 P&D militar e inovação**

Os estabelecimentos militares governamentais exerceram uma influência importante na mudança tecnológica na maioria das economias industriais durante diversas gerações. Entretanto, os canais pelos quais as atividades militares influenciaram a inovação mudaram significativamente, assim como mudaram a estrutura e a escala dos estabelecimentos militares nacionais e as sociedades industriais nas quais eles operam.

Segundo Mowey (2010), a Revolução Industrial foi responsável pelo crescimento do estabelecimento nacional militar que começou a investir em inovação sistematicamente. O crescimento dramático da complexidade tecnológica e o custo das armas que foram utilizadas pela primeira vez pelos estabelecimentos militares das potências industriais nascentes em meados do século XIX forjou laços mais estreitos entre a inovação militar e civil, baseada em parte no crescimento de setores fornecedores que incluíam componentes estatais e privados.

Entretanto, a extensa literatura sobre o papel das forças armadas na mudança tecnológica é majoritariamente dedicada à segunda metade do século XX, um período caracterizado por gastos maciços por parte dos governos das economias industrial e centralmente planejadas em P&D militar e compras em tempos de paz.

Um dos resultados do financiamento público em larga escala da inovação organizada por estabelecimentos militares pós-guerra foi o crescimento considerável

de pesquisa sobre a economia da P&D de defesa, incluindo gastos com trabalho pioneiro realizados por economistas e outros cientistas sociais sobre o processo e o gerenciamento de inovação dentro de sistemas complexos por parte do Departamento de Defesa.

#### *6.1.1 O racional por trás do investimento público em P&D*

O investimento público em P&D pode ser explicado, pelo menos em parte, pelo racional da falha de mercado. As dificuldades em apropriar os retornos do investimento em pesquisa e inovação levou firmas privadas a subinvestir em P&D, criando uma "falha de mercado" que pode ser endereçada pelo investimento público. Influenciado por esse racional, o Relatório Bush afirma que existem áreas da ciência em que o interesse público é agudo, mas que provavelmente serão cultivados inadequadamente se deixadas à mercê de fontes de financiamento privado, incluindo a pesquisa sobre problemas militares, e essas áreas "devem ser promovidas pelo apoio ativo do governo" (Bush, 1945).

Por outro lado, Mowery (2010) mostra que, empiricamente, o racional de falhas de mercado explica menos da metade do gasto com P&D público na maior parte dos países da OECD. Apesar de mudanças significativas nas estruturas de programas de P&D, a maior parte dos orçamentos de investimento em P&D nesses países é dominada por programas que servem a missões específicas do governo.

#### *6.1.2 O crescimento da inovação para fins militares*

Nos EUA, os gastos militares com P&D diminuíram após a Primeira Guerra Mundial e se mantiveram baixos até a década de 1930. Em 1940, 39% do total dos gastos federais com P&D era do Departamento de Agricultura e 35% era relacionado aos gastos com defesa. Já em 1945, esses gastos já haviam aumentado em mais de 4,2% (Mowery, 2010).

O Projeto Manhattan, cujo orçamento excedia o orçamento de P&D direcionado à agências inclusas no Departamento de Defesa no período de 1944-1945, foi um projeto de engenharia de escala e complexidade sem precedentes que criou uma infraestrutura de P&D para laboratórios financiados federalmente, muitos dos quais eram operados por universidades e corporações americanas. Os contratos

de P&D da grande parte do Projeto Manhattan e outros programas de P&D em tempos de guerra de larga escala foram em si inovações importantes com implicações de longo alcance para a estrutura de P&D civil e militar pós-guerra.

O Departamento de Defesa foi responsável por uma parcela substancial de gastos com P&D federal e no geral no período após a Segunda Guerra Mundial. O dispêndio de P&D referente a defesa representou mais de 80% do total de gastos com P&D federais durante a maior parte da década de 1950 e raramente ficou abaixo do nível de 50% entre 1949-2005, explicitando a significância do investimento em P&D por parte do governo federal dos EUA. Porém, os gastos federais apoiaram principalmente atividade de P&D em indústrias e universidades, ao invés de serem fortemente concentrados em laboratórios federais.

As expensas dos EUA com P&D relacionado à defesa foi dominada por gastos com desenvolvimento no período pós-guerra, sendo que, no período entre 1956-2005, elas representavam 80% da totalidade dos gastos com P&D do Departamento de Defesa, enquanto pesquisa básica representava menos de 5% (Mowery, 2010).

### *6.1.3 O desempenho inovador da P&D ligada à defesa*

Não existe uma estrutura teórica totalmente aceita para avaliação dos efeitos da P&D militar, além do consenso geral que tais efeitos são mais significantes em tempos de paz do que em tempos de guerra. O ambiente institucional incomum em esse tipo de P&D é realizado também torna difícil rastrear os efeitos econômicos dos transbordamentos de conhecimento que normalmente se associam a programas públicos de P&D em larga escala. Com a importante exceção do trabalho empírico nos efeitos de produtividade da P&D governamental e investimento em P&D militar, poucos estudos quantitativos desses problemas usaram tipos de indicadores (como patentes, por exemplo) que foram usados em outros estudos empíricos sobre as fontes e os efeitos da inovação.

Diversos estudiosos apontam que P&D e aquisições militares podem ser dificilmente descritos ou analisados assim como outras atividades com base no mercado. Em vez de empresas concorrentes que atendem a mercados de consumidores ou empresas autônomas, cujas decisões de compra independentes influenciam preço, lucratividade, entrada e saída, a P&D militar e transações

relacionadas envolvem competição limitada entre um pequeno número de empresas (geralmente de grande porte) que vendem para um único cliente. A operação das forças competitivas dentro dessa arena é gerenciada pelo comprador.

Os produtos vendidos para compradores militares raramente não são modificados antes de serem empregados na economia civil e, portanto, não contribuem diretamente para melhorias na eficiência produtiva da economia, embora as grandes somas gastas em P&D e atividades relacionadas apoiem a renda e o emprego. Grande parte do impacto inovador civil de P&D e compras militares depende, em última análise, da extensão dos benefícios indiretos associados à aplicação a usos civis de conhecimento ou tecnologias originalmente desenvolvidas com fundos militares de P&D. A extensão desses benefícios indiretos permanece controversa, pois são difíceis de mensurar e sua magnitude depende das políticas seguidas pelas agências militares que gerenciam programas de P&D e compras.

O caráter não mercantil da P&D militar e atividades de aquisições tem uma outra aplicação importante para a análise dos efeitos desses programas de inovação e crescimento de produtividade. O resultado dos programas militares de P&D e aquisições não é capturado pelas medidas convencionais de renda nacional, que mensuram apenas as matérias primas utilizadas para realiza-los. Portanto, melhoramentos na produtividade ou no desempenho do setor de defesa que fluem da inovação ou outras fontes não são mensurados, uma vez que os produtos ou resultados do setor são capturados em estatísticas econômicas. Essa dificuldade de medição não é única à defesa nacional, mas ocorre em diversas áreas de P&D voltadas à missão financiadas com o dinheiro público. Gastos de P&D com exploração espacial e com saúde são outros exemplos que partilham dos mesmos problemas. Os benefícios do transbordamento pecuniário que são associados com inovação na economia civil, ou seja, benefícios que não são capturados pelos produtores que fluem de melhoramentos na qualidade do produto e/ou reduções no custo de produtos de qualidade constante, são por definição impossíveis de mensurar nesses setores.

A estrutura conceitual utilizada para considerar os efeitos da P&D militar na inovação é baseada em grande parte na evidencia histórica extensiva e nos estudos de caso desenvolvidos para o período pós-guerra, o qual focou majoritariamente na experiência americana. A escala e estrutura única do setor de defesa americano após 1945 certamente influenciou a operação dos canais pelos quais investimentos

públicos em P&D relacionados à defesa e aquisição afetaram a inovação civil em toda a economia ou pelo menos setores específicos.

Um dos mecanismos através do qual os investimentos em P&D relacionados à defesa podem auxiliar a inovação é o financiamento militar para um novo conhecimento científico ou de engenharia que apoiem a inovação em aplicações civis e relacionadas à defesa. Esses investimentos também podem apoiar importantes componentes institucionais dos SNIS, como universidades, que fornecem pesquisa e cientistas e engenheiros treinados. Esse canal de interação possivelmente produzirá os maiores benefícios de investimentos relacionados à defesa em pesquisa básica e aplicada, em vez de desenvolvimento.

Um segundo canal importante através do qual o investimento em P&D relacionado à defesa afeta o desempenho inovador civil são os "spinoffs" clássicos, onde os programas de P&D relacionados à defesa geram tecnologias com aplicações em usos civis e relacionados à defesa. Esse canal de interação pode se beneficiar de investimentos relacionados à defesa em desenvolvimento de tecnologia, bem como em pesquisa. Mas os "spinoffs" civis associados aos investimentos relacionados à defesa em desenvolvimento parecem ser mais significativos nos estágios iniciais de desenvolvimento de novas tecnologias, uma vez que essas fases iniciais geralmente apresentam sobreposição substancial entre aplicações de defesa e de não defesa. À medida que as tecnologias amadurecem, os requisitos civis e militares frequentemente divergem, e o benefício civil de tais "derivações" diminui.

Um terceiro canal importante através do qual os gastos relacionados a defesa em novas tecnologias podem promover aplicações civis é a aquisição. Como em outras áreas de P&D "orientado para a missão", o investimento em P&D relacionado à defesa é frequentemente complementado por compras substanciais de novas tecnologias. A aquisição pode afetar diretamente os gastos em P&D das empresas de defesa, e a aquisição de defesa pode afetar o desenvolvimento de novas tecnologias. Os serviços militares dos EUA, cujos requisitos normalmente enfatizam o desempenho acima de todas as outras características (incluindo custo), desempenharam um papel particularmente importante durante o período pós-1945 como "comprador principal", fazendo grandes pedidos de versões iniciais de novas tecnologias. Essas ordens de compra permitiram que fornecedores de produtos como transistores ou circuitos integrados reduzissem os preços de seus produtos e

melhorassem sua confiabilidade e funcionalidade. As compras governamentais historicamente permitiram que os inovadores se beneficiassem do aprendizado aumentando a escala de produção para as primeiras versões da tecnologia.

Nos Estados Unidos, investimentos em pesquisa relacionados à defesa foram uma considerável parcela do P&D financiado federalmente, além de contribuírem para a criação de uma infraestrutura de pesquisa baseada em universidades americanas durante o período pós-guerra que tem sido uma fonte importante de inovações civis (Mowery, 2010). Na verdade, a reestruturação do SNI americano entre as décadas de 1930 e 1950 aumentaram a escala e a importância da pesquisa baseada em universidades, dependendo de um robusto orçamento federal para pesquisas nos campos de ciência básica e aplicada e engenharia para criar a "Universidade da Guerra Fria".

Existem diversos exemplos de "spinoffs" tecnológicos dos gastos com P&D relacionados à defesa no período pós-guerra nos Estados Unidos, como o motor a jato e a fuselagem de asa varrida que transformaram a indústria aeronáutica americana. Já a aquisição relacionada à defesa foi particularmente importante na indústria de tecnologia da informação.

Mowery (2010) aponta que apesar de grande parte da pesquisa sobre os efeitos do P&D militar focam em estudos históricos e de caso, investigações estatísticas também mostram dados relevantes, mesmo que a maior parte dessas conclusões são sugestivas ao invés de definitivas. Entretanto, essas análises empíricas chegaram à variadas conclusões sobre as ligações entre P&D financiado pelo governo, P&D relacionado à defesa financiado pelo governo, crescimento de produtividade, e investimento em P&D financiado pela indústria. Tanto os estudos longitudinais do crescimento da produtividade dos Estados Unidos quanto os estudos transversais em nível de país também são afetados pela posição incomum dos Estados Unidos. O período incluído em muitos desses estudos é aquele durante o qual pelo menos 50% e durante alguns anos até 70% da P&D financiada pelo governo nos Estados Unidos estava relacionada à defesa. Análises empíricas de dados americanos pós-1945 tendem a mostrar a substituição entre P&D pública e privada de forma mais consistente do que estudos de outros países. A inclusão ou exclusão dos Estados Unidos em estudos transnacionais da relação mais ampla entre P&D com financiamento público e privado, ou entre P&D com financiamento público e desempenho econômico, pode afetar os resultados desses estudos. A

sensibilidade dos resultados dos estudos à inclusão ou exclusão dos Estados Unidos, por sua vez, provavelmente reflete a influência dos gastos em P&D relacionados à defesa pelo governo dos EUA. Ademais, o caráter não mercadológico dos programas militares de P&D complica ainda mais a interpretação desses resultados, os benefícios econômicos decorrentes dos investimentos em P&D em defesa são em grande parte indiretos, o que significa que são difíceis de capturar dentro da "produção de conhecimento".

## **6.2 A história**

A DARPA existe há mais de sessenta anos e durante esse tempo evoluiu, mudou e, em algumas ocasiões, chegou perto de ser dissolvida. Ela fez alterações em sua estrutura organizacional e também em alguns mecanismos operacionais importantes. Portanto, não existe apenas uma representação simples e singular da agência que seja precisa porque ela mudou e se adaptou com base em como o mundo ao seu redor mudou, com destaque em como o ambiente de segurança nacional mudou, mas também no que diferentes presidentes e suas administrações pediram à ela.

### *6.2.1 As origens: 1958-1970*

Em 4 de outubro de 1957, a União Soviética lançou o primeiro satélite artificial, o Sputnik I, um feito que chocou os Estados Unidos. Apesar de não parecer uma conquista tecnológica particularmente significativa, o Sputnik teve um enorme impacto psicológico e político.

O fato de os Estados Unidos se encontrarem atrás da União Soviética na entrada no espaço significava que algo estava errado não apenas com o programa espacial americano, mas com sua organização e gerenciamento de ciência e tecnologia avançadas para a segurança nacional e que, portanto, era necessária uma mudança fundamental.

Após o lançamento do Sputnik, o presidente Dwight Eisenhower seguiu o conselho do secretário de Defesa Neil McElroy e dos principais cientistas, incluindo seus conselheiros científicos, James Killian e depois o Dr. George Kistiakowsky, e propôs a criação do que se tornou a Agência de Projetos de Pesquisa Avançada

(ARPA). A ARPA foi formada apenas quatro meses após o Sputnik, em 7 de fevereiro de 1958, por meio da Diretiva 5105.15 do DoD pelo secretário McElroy. Herbert York, veterano do Projeto Manhattan e primeiro diretor do Laboratório Lawrence Livermore, ajudou a orientar a evolução inicial da ARPA como seu primeiro cientista-chefe e depois como o primeiro Diretor de Pesquisa e Engenharia do Departamento de Defesa. A agência foi a principal herdeira do modelo de ciência conectada da Segunda Guerra Mundial incorporado no Laboratório Nacional de Los Alamos e no Laboratório de Radiação do MIT (Rad Lab).

Inicialmente, a agência se concentrou em três questões principais do presidente: espaço, defesa antimísseis e detecção de testes de armas nucleares. Eisenhower posteriormente deixou claro que o espaço seria o domínio de uma agência civil e, mais tarde, em 1958, o Congresso e o Presidente criaram a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), uma agência civil que assumiu os principais programas espaciais do país, absorvendo muito do Programa Espacial da DARPA. As duas outras atribuições presidenciais continuaram como focos dominantes por cerca de quinze anos, mas acabaram sendo transferidas para outras partes do DoD.

Além disso, logo após sua fundação, a ARPA assumiu o Projeto AGILE, proposto pelo vice-diretor, William Godel, que era um programa classificado de uma década de apoio aos esforços de combate dos EUA no Vietnã e além. Windham e Van Atta (2019) apontam que grande parte do projeto era ingênuo, mal administrado e repleto de amadorismo. Era pouco científico e, como programa operacional, focava em soluções de curto prazo. Tornou-se um elemento-chave na definição do que a DARPA não seria na batalha por visões concorrentes para o futuro da agência.

Com a rápida transferência do programa espacial para a NASA, a ARPA passou o resto da década focada na defesa antimísseis, detecção de testes nucleares e AGILE. No entanto, no início da década de 1960, outro papel para o ARPA surgiu quando começou a perseguir um conjunto de programas menores e tecnicamente focados sob a noção geral de “prevenir a surpresa tecnológica”. As áreas inicialmente perseguidas eram a ciência dos materiais, a tecnologia da informação e a ciência comportamental. De fato, pode-se argumentar que a ARPA, em essência, “inventou” essas áreas como áreas de busca tecnológica. Estes começaram em 1961 sob Jack Ruína, o primeiro cientista a dirigir a ARPA, que contratou J. C. R. Licklider como o primeiro diretor do Gabinete de Técnicas de

Processamento de Informação. Esse escritório desempenhou um papel vital na criação da computação pessoal e da ARPANET, a base para a futura Internet.

### *6.2.2 Ressucitação: década de 1970*

No final da década de 1960, a ARPA era uma agência problemática: vítima do mal-estar do Vietnã e dos cortes de recursos que afetaram todo o DoD, e com a questão adicional que seu programa pós-espacial impõe (defesa de mísseis (DEFENDER) e detecção de testes nucleares (VELA)) tinham essencialmente seguido seu curso. Já em 1965, o vice-secretário de Defesa Cyrus Vance “veio defender a abolição da Agência”. Assim, houve um período de crise na agência entre 1965 e 1970.

A DARPA evoluiu organizacional e programaticamente dessa crise em grande parte devido a John S. Foster, que se tornou Diretor de Pesquisa e Engenharia de Defesa em 1965 e permaneceu por oito anos. Em meados da década de 1970, a agência abandonou o programa AGILE e transferiu o DEFENDER para o Exército. Ela estava explicitamente procurando novas direções primeiro sob o diretor Eberhardt Rechtin, que criou um Escritório de Tecnologias Estratégicas, e depois seu sucessor Steven Lukasik, que viu o AGILE como “uma vergonha” e o fechou, fazendo a transição de partes dele para um novo Escritório de Tecnologia Tática.

Assim, em meados da década de 1970, a DARPA reorientou substancialmente os escritórios de tecnologia e se afastou das atribuições originais focadas na missão. Crucial para esse rejuvenescimento foi ela assumindo um novo foco amplo voltado para encontrar alternativas tecnológicas ao uso de armas nucleares para responder à União Soviética. Este foi um imperativo chave decorrente das preocupações do presidente Richard Nixon e seu conselheiro de segurança nacional, Henry Kissinger, e que continuou com o secretário de Defesa James R. Schlesinger como um dos principais proponentes do presidente Gerald Ford. A DARPA identificou e desenvolveu novas capacidades táticas baseadas em tecnologias emergentes por meio de programas de furtividade, ataque de precisão e vigilância tática por meio de veículos aéreos não tripulados (UAVs).

### 6.2.3 *Desenvolvimento e transição de tecnologia: década de 1980*

Com essa reorientação, a DARPA sobreviveu. Através de anos de esforços persistentes, trabalhando com o DDR&E no Gabinete do Secretário de Defesa (OSD), ela transferiu essas capacidades para as forças armadas, criando o que o subsecretário de Defesa William Perry e o secretário de Defesa Harold Brown (sob o presidente Jimmy Carter) chamaria de “estratégia de compensação”, ou seja, maneiras de compensar as capacidades convencionais de guerra da União Soviética e reduzir o risco correspondente de guerra nuclear. Esses programas-chave da DARPA estão entre os programas mais importantes em termos do impacto da agência nas capacidades de defesa e são frequentemente apontados como o impacto da DARPA em inaugurar uma “revolução nos assuntos militares”, evidenciando como a DARPA ajudou a transformar a guerra tática.

Paralelamente aos programas transformacionais da DARPA em tecnologias militares nas décadas de 1970 e 1980, estavam seus programas revolucionando a tecnologia da informação, decorrentes do foco do início dos anos 1960 do diretor Licklider do IPTO (*Information Processing Technology Office*). A ARPA/DARPA afetou fundamentalmente o que se tornaria a ciência da computação. O presidente John F. Kennedy e o secretário de Defesa Robert McNamara ficaram muito preocupados com uma crise de comunicação de “comando e controle” durante a crise dos mísseis cubanos. O diretor da ARPA, Jack Ruina, trouxe Licklider para trabalhar nele, que viu o problema em um contexto de sistemas de computação em evolução. Embora um elemento disso fosse a ARPANET, ela fazia parte de um programa de pesquisa muito mais amplo e cada vez mais coerente iniciado sob Licklider. Seu conceito de “simbiose homem-computador” forneceu um desenvolvimento multifacetado das tecnologias subjacentes à transformação do processamento de informações de máquinas de *mainframe* desajeitadas, cheias de salas e inacessíveis para a rede onipresente de recursos de computação interativa e pessoal. Essa transformação continua até hoje na busca da DARPA por computação cognitiva, inteligência artificial e robótica, os principais impulsos da DARPA.

#### 6.2.4 Fim da Guerra Fria: década de 1990

No início da década de 1990, a DARPA, assim como o resto do DoD, teve que se adaptar ao fato de que o principal adversário, a União Soviética, havia entrado em colapso. Assim, o foco de sua pesquisa de armas havia desaparecido. Além disso, os EUA estavam em uma crise orçamentária, em parte devido aos vastos gastos com defesa da década de 1980. O governo Clinton assumiu o cargo com a rubrica uso duplo, tecnologias que teriam benefícios tanto para a defesa quanto para a economia civil, como uma forma de tornar a economia mais competitiva. Sob essa abordagem, o DoD poderia alavancar o setor civil na redução de custos para desenvolver novas tecnologias. Essa era de programas de uso duplo foi um grande redirecionamento da DARPA e tornou-se altamente controversa com elementos no Congresso. O Projeto de Reinvestimento de Tecnologia (TRP) foi criado para fazer parceria com desenvolvedores de tecnologia de defesa com empresas comerciais e universidades.

A OSD e a DARPA trabalharam com a Casa Branca para desenvolver este programa para continuar a exploração e o desenvolvimento da DARPA de tecnologias “descobertas” no modo da revolução da informação, apesar da falta de um adversário de segurança de pares. O secretário de Defesa William Perry enfatizou o conceito de uso duplo. Durante este período, além de iniciar programas em biotecnologia, a ênfase foi fortemente na promoção de novas tecnologias em informação e eletrônica, incluindo sensoriamento avançado, enquanto os programas em sistemas não tripulados e ataques de precisão continuaram. No final da década de 1990, a DARPA assumiu um programa em parceria com o Exército buscando uma abordagem radical para o uso de robótica para combate terrestre, o *Future Combat System*, que acabou sendo extremamente mal sucedido, pois era excessivamente ambicioso e apressado para ser adquirido pelo Exército e, após o gasto de cerca de US\$ 20 bilhões, acabou sendo cancelado pelo Secretário de Defesa.

#### 6.2.5 Guerra ao terror: década de 2000

Poucos meses depois de Anthony Tether assumir o papel de diretor, ocorreram os ataques terroristas de 11 de setembro e a DARPA se envolveu na “Guerra ao

Terror”. O programa *Total Information Awareness* (TIA) tornou-se a resposta mais notável da agência, mas também foi um programa controverso, pois o uso de tecnologias de informação para identificar possíveis terroristas e ataques terroristas levantou questões de privacidade. A tendência do Tether de supervisionar os gerentes de programas também levantou questões sobre se a DARPA deve ser inerentemente ascendente, orientada pelos gerentes ou mais orientada pelo diretor.

A DARPA também desenvolveu programas em sensores e sistemas de sensores para apoiar as necessidades de combate no Iraque e no Afeganistão, além de programas em computação cognitiva (inteligência artificial) e sistemas autônomos com os concursos “DARPA Challenge” para carros autônomos como exemplos altamente visíveis iniciando a implementação dessas tecnologias. Esses desafios foram bem sucedidos em criar interesse e incentivar equipes de pesquisadores a demonstrar capacidades autônomas integradas.

#### *6.2.6 Tecnologia para segurança em um mundo globalizado: década de 2010*

Ao longo da década atual, a DARPA continuou em uma agenda focada principalmente em tecnologia, na qual a ênfase está na busca de inovações disruptivas. No entanto, reconheceu que o mundo da tecnologia mudou consideravelmente com o advento da globalização. Onde os EUA e o DoD lideraram no desenvolvimento de tecnologia no passado, agora existem concorrentes globais buscando muitas das tecnologias que a DARPA foi pioneira. Ao mesmo tempo, há uma crescente competição entre pares na área de segurança, enquanto o terrorismo é uma preocupação constante. Assim, a missão da DARPA de evitar surpresas tecnológicas e também criar surpresas tecnológicas para seus adversários. Sob os secretários de Defesa de Barack Obama, Chuck Hagel e Ash Carter, o DoD anunciou uma nova estratégia de “Compensações” para tentar construir uma nova liderança tecnológica nos EUA à medida que novos concorrentes desenvolviam capacidades em áreas que a DARPA havia criado na estratégia de compensação anterior.

A DARPA também respondeu à era de grandes avanços nas ciências da vida, mais visivelmente, as iniciativas do Genoma Humano lideradas pelos Institutos Nacionais de Saúde (NIH) e seu concorrente do setor privado, J. Craig Venter. A

agência vinha realizando pesquisas em biotecnologia há muito tempo, mas em 2013 criou um novo Escritório de Tecnologias Biológicas para se concentrar nessa área. Campos como a biologia sintética criaram novos tipos de ameaças que precisavam de contadores, e o próprio sistema de saúde maciço do DoD e soldados feridos de duas guerras no Oriente Médio exigiram novas respostas médicas. Enquanto a pesquisa do NIH permaneceu amplamente focada em biologia, a flexibilidade da DARPA permitiu que ela buscasse uma abordagem de “convergência”, criando esforços de pesquisa unificados combinando engenharia, ciências físicas e computacionais com biologia para um novo modelo de pesquisa buscando novos tipos de terapias. No domínio da informação, a DARPA está se concentrando em inteligência artificial, computação cognitiva e abordagens para o avanço da microeletrônica para avançar a computação quântica e os processadores neuro sinápticos com base em como o cérebro processa as informações. Com base em pesquisas anteriores em aeronáutica e propulsão, ela está embarcando em um grande impulso em sistemas hipersônicos. Enquanto isso, ameaças cibernéticas crescentes estimularam vários programas ambiciosos em segurança cibernética. Assim, os focos técnicos e de segurança da agência mudaram com o tempo, embora sua missão tenha permanecido praticamente a mesma

No entanto, para realizar essa missão hoje, a agência deve se concentrar na criação e demonstração de tecnologias inovadoras para a segurança nacional, nas quais há muito mais atores altamente capazes e na qual as tecnologias se disseminam rapidamente globalmente.

### **6.3 O Departamento de Defesa e o setor privado: o caso da Apple**

Desde seu começo vendendo kits de computadores pessoais até sua posição atual como líder na indústria global de informações e comunicações, a Apple dominou tecnologias de design e engenharia que foram desenvolvidas e financiadas pelo governo e militares dos EUA (Mazzucato, 2011). As capacidades da Apple estão principalmente relacionadas à sua habilidade de: reconhecer tecnologias emergentes com grande potencial; aplicar habilidades de engenharia complexas que integram com sucesso tecnologias emergentes reconhecidas; e manter uma visão corporativa clara priorizando o desenvolvimento de produtos orientados ao design para o melhor satisfação do usuário. Tais recursos permitiram que a Apple se

tornasse uma potência global na indústria de computadores e eletrônicos. Durante o período anterior ao lançamento de seus produtos populares da plataforma iOS, a Apple recebeu enorme apoio governamental direto e/ou indireto derivado de três áreas principais:

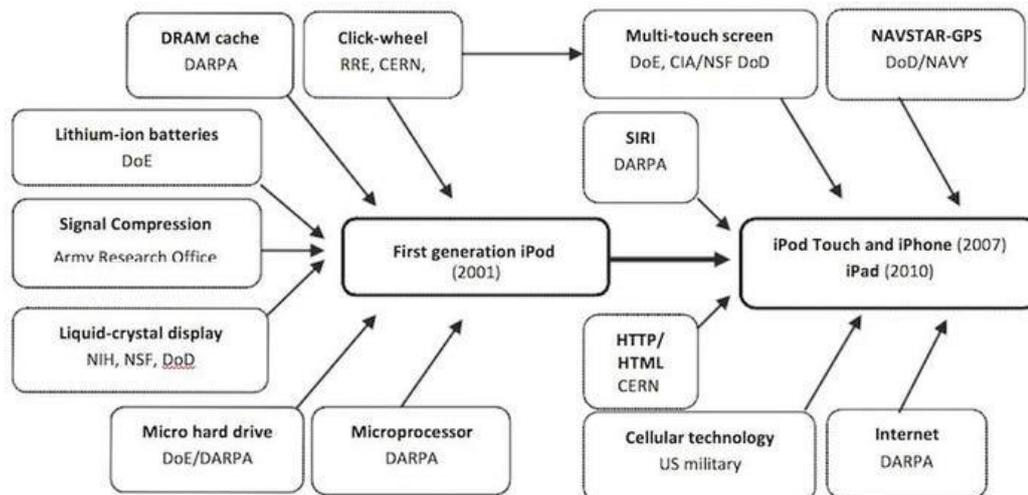
- 1) Investimento direto de capital durante os estágios iniciais de criação e crescimento de empreendimentos.
- 2) Acesso a tecnologias resultadas de grandes programas governamentais de pesquisa, iniciativas militares, contratos públicos ou que foram desenvolvidas por instituições públicas de pesquisa, todas apoiadas por financiamento estatal ou federal.
- 3) Criação de políticas fiscais, comerciais ou tecnológicas que apoiassem empresas americanas como a Apple, permitindo que elas sustentassem seus esforços de inovação em momentos em que desafios nacionais e/ou globais impediam as empresas americanas de permanecer à frente ou as faziam ficar para trás na corrida para capturar os mercados mundiais.

Desde o início, Steve Jobs e Steve Wozniak buscaram o apoio de várias fontes de financiamento públicas e privadas em seu esforço para formar e desenvolver a Apple. Cada um acreditava na visão em sua mente: que um enorme valor poderia ser capturado das tecnologias disponibilizadas principalmente como resultado dos esforços anteriores do Estado. Pioneiros do capital de risco e lendas do Vale do Silício, como Don Valentine, fundador da Sequoia, Arthur Rock, fundador da Arthur Rock & Company, Venrock, o braço de capital de risco da Família Rockefeller, e Mike Markkula, da Fairchild e da Intel estavam entre os primeiros investidores anjo e de ações que compraram sua visão. Além das tecnologias que ajudariam a Apple a revolucionar a indústria de computadores, a empresa também recebeu apoio financeiro do governo para implementar suas ideias de negócios visionárias na indústria de computadores. Antes de seu IPO em 1980, a Apple garantiu adicionalmente US\$ 500.000 como um investimento de capital inicial da Continental Illinois Venture Corp. (CIVC), uma *Small Business Investment Company* (SBIC) licenciada pela Small Business Administration (uma agência federal criada em 1953) para investir em pequenas empresas.

O surgimento da computação pessoal foi possibilitado pelos avanços tecnológicos alcançados por meio de várias parcerias público-privadas estabelecidas em grande parte por agências governamentais e militares. Quando a Apple foi inicialmente criada para vender o kit de computador pessoal Apple I em 1976, as principais tecnologias do produto foram baseadas em investimentos públicos feitos

na indústria de computadores durante as décadas de 1960 e 1970. A introdução do silício durante esse período revolucionou a indústria de semicondutores e anunciou o início de uma nova era, na qual o acesso a computadores pessoais acessíveis para mercados consumidores mais amplos se tornou possível. Esses avanços foram o resultado de pesquisas realizadas em várias parcerias público-privadas em laboratórios, incluindo os da DARPA, AT&T Bell Labs, Xerox PARC, Shockley e Fairchild, entre outros. O Vale do Silício rapidamente se tornou o “*hub* de inovação em computadores” do país e o clima resultante estimulado e nutrido pelo papel de liderança do governo em financiamento e pesquisa, tanto básico como aplicado, foi aproveitado por empreendedores inovadores e pela indústria privada no que foi chamado de “Internet California Gold Rush” ou a “Silicon Gold Rush”.

São 12 as principais tecnologias integradas ao iPod, iPhone e iPad que se destacam como recursos que são “habilitadores” ou que diferenciam esses produtos de seus concorrentes no mercado. Estes incluem dispositivos semicondutores como (1) microprocessadores ou unidades de processamento central (CPU); (2) memória dinâmica de acesso aleatório (DRAM); (3) armazenamento em micro disco rígido ou discos rígidos (HDD); (4) telas de cristal líquido (LCDs); (5) baterias de polímero de lítio (Li-pol) e de íons de lítio (Li-ion); (6) processamento digital de sinais (DSP), baseado no avanço dos algoritmos de transformada rápida de Fourier (FFT); (7) a Internet; (8) o Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP) e a Linguagem de Marcação de Hipertexto (HTML); (9) e tecnologia e redes celulares. Todas essas tecnologias podem ser consideradas como as principais facilitadoras para produtos como iPod, iPhone e iPad. Por outro lado, (10) sistemas de posicionamento global (GPS), (11) navegação por *click wheel* e telas multitoque, (12) e inteligência artificial com um programa de interface de usuário de voz (também conhecido como SIRI da Apple) são recursos inovadores que impactaram drasticamente as expectativas do consumidor e as experiências do usuário, aumentando ainda mais a popularidade e o sucesso desses produtos.



**Figura 2:** As principais tecnologias usadas na construção do iPod, iPod Touch, iPhone e iPad e suas origens. Fonte: Mazzucato (2011)

#### 6.4 O modelo de ciência conectada para inovação

A DARPA tornou-se uma entidade única, no sentido em que ela enfatiza o investimento de alto risco, passa de avanços tecnológicos fundamentais para o desenvolvimento e, em seguida, incentiva as etapas de prototipagem e produção nas forças armadas ou no setor comercial. Do ponto de vista da inovação institucional, a DARPA é um modelo conectado, atravessando as barreiras entre os estágios de inovação. De muitas maneiras, ela herdou diretamente a ciência conectada, o desafio e os grandes modelos de organização de grupos do Rad Lab e Los Alamos. No entanto, ao contrário desses modelos, que operaram primariamente no nível pessoal, a DARPA operou nos níveis tanto institucional, quanto pessoal e, portanto, tornou-se uma organização-ponte, conectando esses dois elementos organizacionais institucionais e pessoais, diferentemente de qualquer outra entidade de P&D criada no governo (Bonvillian, 2019).

##### 6.4.1 Nível institucional: organização da inovação

Bonvillian (2019) argumenta que o crescimento econômico afetou dramaticamente a transformação militar. Para os EUA, houve uma profunda interação entre guerra e tecnologia, como mostra a história. A tecnologia de defesa não pode ser discutida como se estivesse separada da tecnologia que está

impulsionando a expansão da economia, uma vez que ambas fazem parte dos mesmos paradigmas tecnológicos. Poucas das armas críticas que transformaram a guerra do século XX vieram de uma necessidade ou solicitação doutrinária específica dos militares e, em vez disso, a disponibilidade de avanços tecnológicos impulsionou a doutrina. Se a inovação tecnológica é uma força motriz tanto no progresso econômico dos EUA quanto na superioridade militar, e esses elementos interagem, é necessário entender os fatores causais por trás dessa inovação.

Robert Solow, professor de economia do MIT, estava profundamente insatisfeito com o modelo de crescimento da economia clássica, onde o crescimento era entendido em um modelo estático da interação entre oferta de capital e oferta de trabalho, e então postulou um modelo dinâmico, argumentando que, embora a oferta de capital e trabalho permanecesse significativa, havia um fator maior. Estudando cinco décadas de crescimento econômico dos EUA, ele descobriu que mais da metade desse crescimento decorreu da inovação tecnológica e relacionada. Seu trabalho sugere que o fator-chave por trás de seu crescimento por meio da tese da inovação foi o sistema de pesquisa e desenvolvimento. No entanto, como o desenvolvimento da tecnologia é complexo e não é fácil de medir, ele o tratou como “exógeno” à economia. O economista Paul Romer argumentou que o conhecimento técnico impulsiona o crescimento econômico e que ele é um elemento “endógeno” à economia. O fator chave por trás desse conhecimento é o talento científico e tecnológico, o “capital humano engajado na pesquisa”, e ainda sugeriu que a nação ou região que abastecer o maior número de garimpeiros bem treinados encontrará mais ouro, ou seja, os avanços mais inovadores.

Esses dois fatores diretos, talento e P&D, não estão isolados um do outro, mas são partes interativas de um intrincado ecossistema de inovação. Existem muitos outros fatores que são partes importantes desse sistema, elementos que são mais indiretos, implícitos e periféricos ao avanço da inovação do que os dois fatores diretos essenciais ao crescimento econômico postulados acima, mas esses fatores indiretos são, no entanto, aqueles que uma sociedade também deve acertar para o avanço da inovação. Ambos os fatores diretos e indiretos interagem entre si, representando um sistema comum para o avanço do setor econômico e de defesa.

Desta maneira, a maneira como o P&D e o talento se unem para formar um sistema de inovação é um terceiro fator de inovação (Bonvillian, 2019). Se a organização da inovação é uma espécie de multiplicador para os dois principais

fatores diretos de inovação, então a forma como os sistemas de defesa e inovação civil organizam P&D e talento, e as grandes áreas onde os dois sistemas se sobrepõem serão profundamente determinantes do avanço da inovação para os dois sistemas e, portanto, de liderança econômica e militar.

Nos EUA, a organização governamental de ciência e tecnologia teve início em grande parte da Segunda Guerra Mundial e do imediato pós-guerra. A evolução da tecnologia nos EUA vem de um tipo de relação “PushMi-Pullyu” entre os setores civis econômicos e de defesa, e a Segunda Guerra Mundial foi um período transformador, no qual a pressão pelo avanço da tecnologia militar levou mais tarde a um dramático avanço em toda a economia.

Vannevar Bush liderou essa carga, atuando como executivo de ciência pessoal do presidente Franklin D. Roosevelt durante a guerra. Ele era aliado de um notável grupo de colegas organizadores da ciência, incluindo Alfred Loomis, um banqueiro de investimentos e cientista, o físico Ernest Lawrence de Berkeley, e dois reitores de universidades, James Conant de Harvard e Karl Compton do MIT. Sucessivamente, Bush criou e assumiu o comando das duas principais entidades organizadoras da ciência e tecnologia dos EUA, o Conselho Nacional de Pesquisa de Defesa (NDRC) e, em seguida, o Escritório de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (OSRD). Estas tornaram-se as entidades coordenadoras da P&D dos EUA durante a guerra, criando projetos de pesquisa de acidentes em áreas críticas, como o Rad Lab no MIT e Los Alamos, e eles, por sua vez, asseguravam a interação e a coordenação com uma rica mistura de componentes de pesquisa.

Influenciado pelas frustrações de sua experiência de pesquisa militar na Primeira Guerra Mundial, Bush reuniu todos os esforços de pesquisa de defesa sob uma tenda de coordenação solta, NDRC e depois OSRD, e montou equipes de projeto interdisciplinares, não burocráticas e orientadas para grandes desafios tecnológicos, como radar e armas atômicas, como forças-tarefa de implementação. Ele criou a ciência “conectada”, onde os avanços tecnológicos no estágio da ciência fundamental estavam intimamente ligados aos estágios subsequentes de desenvolvimento, prototipagem e produção, operando sob o modelo tecnológico de “desafio”. Porque Bush e Loomis poderiam ir diretamente ao topo por apoio de Roosevelt, através do Secretário de Guerra Henry Stimson e do Assessor Presidencial Harry Hopkins, Bush manteve seu modelo organizacional durante a guerra, apesar da pressão militar implacável, da Marinha em particular, para capturá-

lo. Então, imediatamente após a guerra, ele desmantelou sistematicamente sua notável criação científica conectada.

Previendo um período de paz mundial, convencido de que os níveis de investimento em ciência do governo em tempos de guerra seriam reduzidos, e provavelmente desconfiado de uma aliança permanente entre os militares e a ciência, Bush decidiu tentar salvar algum nível residual de investimento em ciência federal. Ele escreveu a polêmica mais influente na história da ciência dos EUA, *Ciência: a Fronteira sem Fim*, para Roosevelt, argumentando que o governo federal deveria financiar a pesquisa básica, o que proporcionaria progresso contínuo no bem-estar econômico, segurança nacional e saúde para o país. Ou seja, ele propôs acabar com seu modelo de ciência conectada e abandonar seu modelo de desafio, em favor de tornar o papel federal de financiar uma etapa do avanço tecnológico, a pesquisa básica exploratória. Sua abordagem para o investimento na ciência é o modelo *pipeline*, no qual o governo federal despejaria a ciência básica em uma extremidade de um pipeline de inovação e, de alguma forma, o desenvolvimento e a prototipagem de tecnologia estadual precoce e tardia ocorreriam dentro do pipeline, com novos produtos de tecnologia surgindo, como gênios, no final.

Ele argumentou que essa abordagem de pesquisa básica deveria ser organizada e coordenada sob “uma tenda” para dirigir todos os portfólios de pesquisa do país, propondo o que se tornaria a Fundação Nacional de Ciência. Porque ele queria essa entidade controlada por uma elite científica separada da liderança política do país, Bush entrou em uma batalha com o sucessor de Roosevelt, Harry Truman e este insistiu que a responsabilidade científica pararia em sua mesa, não na mesa de algum cientista, e que as nomeações da Fundação seriam controladas pelo presidente, o que Bush discordou.

Truman, portanto, vetou a legislação da Fundação de Bush, paralisando sua criação por mais cinco anos. Enquanto isso, a ciência não parou. Novas agências proliferaram e a eclosão da Guerra da Coreia levou a uma renovação dos esforços da ciência de defesa. No momento em que a Fundação foi estabelecida e financiada, seu potencial papel de coordenação havia sido ignorado. Também se tornou uma agência muito menor do que Bush esperava, apenas uma entre muitas. Apesar do apoio de Bush a uma tenda onde as disciplinas e agências científicas pudessem coordenar seu trabalho, como fizeram na Segunda Guerra Mundial, os

EUA adotaram assim um modelo altamente descentralizado para seu empreendimento científico.

O conceito de Bush de financiamento federal focado na ciência básica prevaleceu, no entanto, com a maioria das novas agências de ciência adotando esse modelo para o papel da ciência federal. Esses desenvolvimentos gêmeos deixaram a ciência dos EUA fragmentada no nível institucional de duas maneiras: a organização científica geral seria fragmentada entre várias agências científicas e o investimento federal seria focado em apenas um estágio do desenvolvimento tecnológico, pesquisa básica exploratória. Notavelmente, Bush deixou um legado de dois modelos conflitantes para o avanço organizacional científico: o modelo de desafio conectado de suas instituições da Segunda Guerra Mundial, que ele desmantelou após a guerra, e o modelo de ciência organizacional institucional norte-americana focado na ciência fundamental, desconectado e multidirecionado do pós-guerra.

#### *6.4.2 Nível pessoal: grandes grupos*

Além do nível institucional, a inovação requer compreensão do ponto de vista pessoal. Esta é diferente da descoberta e invenção científica, que pode envolver operadores individuais. Em vez disso, ela requer a tomada de descoberta e de invenção científica e acumular aplicações em uma invenção inovadora ou grupo de invenções para criar ganhos de produtividade disruptivos que transformam segmentos significativos de uma economia e/ou sistema de defesa (Bonvillian, 2019). Assim, a inovação é uma terceira fase construída em fases de descoberta e invenção. A inovação precisa não apenas de um processo de criação de ciência conectada no nível institucional, mas também deve operar no nível pessoal. As pessoas são inovadoras, não apenas as instituições gerais onde talento e P&D se unem. Por ser muito mais complexa do que os estágios iniciais de descoberta e invenção, a inovação requer “grandes grupos”, não apenas indivíduos.

##### *6.4.2.1 A “Fábrica de Invenções” de Thomas Edison em Menlo Park, 1876*

No final do século XIX, Thomas Edison formou o protótipo para grandes grupos inovadores. Edison instalou seu famoso laboratório de Menlo Park em um simples edifício de madeira em sua fazenda em Nova Jersey. Nele, ele colocou uma equipe de cerca de uma dúzia de artesãos, misturando uma ampla gama de habilidades com alguns cientistas treinados. Colocou-os para trabalhar intensamente, às vezes 24 horas por dia, 7 dias por semana, e faziam pausas à meia-noite juntos, comendo tortas, recitando poemas e cantando músicas. Eles misturaram uma série de disciplinas e organizaram seu intenso esforço em torno de um grande desafio: a luz elétrica. Eles eram um grande grupo, altamente colaborativo e Edison trabalhou como o líder da equipe. Eles trabalharam na ideia de preencher a lacuna entre os pólos elétricos com um filamento colocado em um tubo de vácuo, o que foi apenas uma invenção revolucionária, não uma inovação. Para tornar sua luz utilizável, Edison e sua equipe tiveram que inventar grande parte da infraestrutura de eletricidade, como geradores a fio, segurança contra incêndio e a estrutura de uma indústria de serviços elétricos de apoio. Eles se tornaram inventores, inovadores e visionários.

Como parte desse processo, Edison teve que derivar elementos da teoria do elétron para explicar seus resultados, conhecido como “Efeito Edison”, que ajudou a levar a avanços na física atômica. O aprendizado deste grupo foi que a ciência não é simplesmente um *pipeline* linear que vai do básico ao aplicado. Em vez disso, funciona nos dois sentidos: básico para aplicado e aplicado para básico. Além disso, Menlo Park ensinou partes do conjunto de regras para grandes grupos, é organizado em torno de um modelo de desafio, com o grupo tentando resolver um desafio ou objetivo específico, aplica uma mistura interdisciplinar de ciência prática e básica para chegar lá, e usa um modelo de ciência conectada, vinculando invenção à inovação e incorporando todos os estágios do avanço da inovação. Embora o grupo esteja sob a liderança clara de Edison, não deixa de ser um esforço não hierárquico, relativamente plano, de dois níveis e altamente colaborativo. A equipe mistura experimentalistas e teóricos, artesãos e cientistas e engenheiros treinados, para uma mistura de capacidade e disciplinas experimentais e teóricas.

#### **6.4.2.2 Alfred Loomis e o Rad Lab no MIT, 1940-1945**

O advogado Alfred Loomis amava a ciência e após sair intacto da quebra da Bolsa de Nova York em 1928, usou sua fortuna para se dedicar à ciência, montando seu próprio laboratório particular em sua propriedade de Tuxedo Park, Nova York, na década de 1930 e reuniu grandes nomes da física pré-guerra. O próprio campo de estudo de Loomis era a física de micro-ondas. À medida que a Segunda Guerra Mundial se aproximava, Vannevar Bush, respeitando as habilidades de organização industrial de Loomis, pediu-lhe que se juntasse ao NDRC de Roosevelt para mobilizar a ciência para a guerra.

Como os militares americanos estavam inicialmente desinteressados, os britânicos entregaram a Loomis uma mala com seus segredos para o radar de micro-ondas em 1940, a qual seria uma tecnologia vencedora de guerra para a guerra aérea. Com a aprovação imediata de Bush e Roosevelt, Loomis dentro de duas semanas estabeleceu o Laboratório de Radiação (Rad Lab) no MIT para desenvolver e explorar essa tecnologia. Como ele os conhecia de seu laboratório no Tuxedo Park, Loomis e seu aliado e amigo Ernest Lawrence da Universidade de Berkeley chamaram toda a base de talentos da física dos EUA para se juntar ao Rad Lab. Como o governo não estava acostumado a estabelecer rapidamente grandes laboratórios, Loomis financiou pessoalmente a *startup* enquanto as aprovações e compras governamentais eram alcançadas.

O Rad Lab era não hierárquico e plano, com apenas dois níveis, gerentes de projeto e equipes de projeto, cada um dedicado a um caminho tecnológico específico. Caracterizava-se pelo trabalho intenso, muitas vezes ininterrupto, e pelo alto astral e moral. Loomis e Bush propositalmente o mantiveram fora das forças armadas. O Rad Lab usou uma base de talentos com uma mistura de disciplinas científicas e habilidades tecnológicas. Foi altamente colaborativo, organizado em torno do modelo de desafio e usou ciência conectada, passando do avanço fundamental ao desenvolvimento, prototipagem e produção inicial. Posteriormente, o modelo organizacional do Rad Lab foi sistematicamente adotado em Los Alamos, e dez cientistas líderes dele mudaram para Los Alamos para implementá-lo. O laboratório desenvolveu grandes avanços no radar de microondas e no fusível de proximidade, tecnologias vitais para o sucesso dos aliados. Oito vencedores do Prêmio Nobel saíram do Rad Lab e acabaram lançando as bases para partes importantes da eletrônica moderna. Ele também incorporou outro recurso essencial para grandes grupos bem-sucedidos, por meio de Loomis e Bush, o Rad Lab teve

acesso direto aos principais tomadores de decisão capazes de ordenar a execução e adaptação de suas descobertas, Stimson e Roosevelt.

#### *6.4.2.3 A equipe de transistores no Bell Labs, 1947*

As instalações de Murray Hill do Bell Labs foram conscientemente instaladas no interior de Nova Jersey após o modelo Menlo Park de Edison e também foram extraídas dos grandes laboratórios militares da Segunda Guerra Mundial, o Rad Lab e Los Alamos. O vice-presidente de P&D da AT&T, Mervin Kelly, e seu principal pesquisador, William Shockley, queriam uma equipe de física de estado sólido de cinquenta cientistas e técnicos de várias áreas com capacidade para pesquisas fundamentais que levassem à aplicações práticas. Sua tarefa era desenvolver um substituto baseado em física de estado sólido para tubos de vácuo, de modo que a capacidade de comutação da AT&T pudesse continuar a aumentar a velocidade e a capacidade do telefone. Os amigos John Bardeen e Walter Brattain, dois dos principais pesquisadores de física do estado sólido que se juntaram a essa equipe, desenvolveram uma colaboração profundamente próxima, onde as habilidades científicas e pessoais de um combinavam com as do outro, um teórico, o outro um experimentalista, um extrovertido, o outro refletivo. Apoiados pelo profundo sistema de suporte técnico industrial da Bell Labs, com equipamentos de última geração e equipe técnica muito forte, os dois entraram em um “mês mágico” de meados de novembro a 16 de dezembro de 1947 e desenvolveram o primeiro transistor, com uma equipe que possuía uma clara divisão de tarefas.

Antes de que o grupo definhasse por motivos de desconfiança entre os membros, o grupo seguiu muitas das regras dos outros grupos antecessores, pois ele era altamente talentoso, relativamente não hierárquico, organizacionalmente plano com essencialmente dois níveis, altamente colaborativo e trazia uma série de conhecimentos e disciplinas, incluindo teóricos e experimentalistas, com cada participante trabalhando em sua área de habilidade mais forte. Foi organizado em um modelo de desafio e a conexão com o vice-presidente da AT&T, Mervin Kelly, garantiu um vínculo com um tomador de decisões que poderia permitir o desenvolvimento de avanços. O grupo trocou ideias de forma contínua, reunindo-se frequentemente com cada um fornecendo pensamentos para ajudar no progresso

dos outros, e Bardeen e Shockley desempenharam um papel de liderança ao mover continuamente ideias conceituais entre o grupo.

Muitas das características organizacionais desses três grandes grupos são comuns a outros, incluindo o desenvolvimento de armas atômicas em Los Alamos, o circuito integrado e microchip na Fairchild Semiconductor e Intel, os avanços aeronáuticos e furtivos na Lockheed's Skunk Works, o pessoal computador na Xerox PARC e Apple, biotecnologia na Genentech e projetos de genômica de J. Craig Venter.

Portanto, pode-se afirmar que esses três grupos possuíam certas características em comum: uma equipe altamente colaborativa ou grupo de grande talento; uma estrutura não hierárquica, plana e democrática onde todos podem contribuir; uma mistura de talentos interdisciplinar, incluindo conjuntos de habilidades experimentais e teóricas em rede com o melhor pensamento em áreas relevantes; organização em torno de um modelo de desafio; usando um modelo de ciência conectado capaz de mover avanços em estágios fundamentais, aplicados, de desenvolvimento e protótipos; líderes cooperativos e colaborativos capazes de promover um moral intenso e elevado; e acesso direto aos principais tomadores de decisão capazes de implementar as descobertas do grupo.

#### 6.4.3 O modelo

O modelo DARPA talvez seja mais bem ilustrado por um de seus praticantes mais bem-sucedidos, J. C. R. Licklider, que, como diretor de escritório da DARPA trabalhando e fundando uma série de grandes equipes de tecnologia, lançou as bases para duas das revoluções tecnológicas do século XX, a computação e a Internet. Em 1960, Licklider, formado em psicologia com formação em física e matemática, escreveu sobre o que chamou de “interface homem-máquina” e “simbiose homem-computador”: muitos anos, os cérebros humanos e as máquinas de computação estarão fortemente acoplados, e que a parceria resultante pensará como nenhum cérebro humano jamais pensou”. Em 1960, Licklider imaginou o *timesharing* como um caminho para a computação pessoal em tempo real, em oposição à então dominante computação mainframe, bibliotecas digitais, a Internet (a “Rede Intergaláctica de Computadores”), o que hoje é a World Wide Web, e a

maioria dos recursos, como computação gráfica, simulações e modelagem, que ainda está sendo desenvolvida para implementar essas revoluções. Licklider foi contratado pela DARPA para trabalhar no problema de “comando e controle”. Isso ocorreu porque John F. Kennedy e Robert McNamara ficaram profundamente frustrados com um profundo problema de comando e controle, ou seja, sua incapacidade de obter e analisar dados em tempo real e interagir com comandantes militares no local durante a crise dos mísseis cubanos. A DARPA deu à Licklider os principais recursos para enfrentar esse problema. Foi o raro caso do visionário ser colocado na posição de facilitador da visão. Fortemente apoiado por notáveis primeiros diretores da DARPA Jack Ruina e Charles Herzfeld, Licklider encontrou, selecionou, financiou, organizou e levantou uma notável rede de apoio dos primeiros pesquisadores de tecnologia da informação em universidades e empresas que ao longo do tempo construíram computação pessoal e a Internet.

No nível da organização institucional, DARPA e Licklider tornaram-se uma força colaborativa entre as agências de pesquisa do Departamento de Defesa controladas pelos serviços, usando os investimentos da DARPA em TI para alavancar a participação das agências para resolver problemas comuns sob modelos de ciência e desafio conectados. A DARPA e a Licklider também mantiveram sua própria burocracia de pesquisa no mínimo, usando as agências de P&D de serviço para realizar gerenciamento de projetos e tarefas administrativas, de modo que os esforços da DARPA criaram co propriedade com os fogões de P&D de serviço. Institucionalmente, embora certamente nem sempre tenha sucesso, a DARPA tentou se tornar uma apoiadora e colaboradora da pesquisa, não uma concorrente rival do estabelecimento de pesquisa de serviço do DoD.

No nível pessoal da organização de inovação, Licklider criou uma notável base de talentos em tecnologia da informação tanto dentro da DARPA quanto em uma rede colaborativa de grandes grupos de pesquisa em todo o país. Esta equipe de apóstolos, incluindo Doug Engelbart, Ivan Sutherland, Robert Taylor, Larry Roberts, Vint Cerf, Robert Kahn e outros, são os principais atores da criação da computação pessoal e da história da internet. Devido ao progresso contínuo, a DARPA estava disposta a ser paciente e capaz de olhar para o longo prazo nesses talentos de TI e investimentos em P&D de uma forma que corporações e empresas de capital de risco não estão estruturadas para realizar. O modelo DARPA de Licklider também não foi um flash na panela, uma vez que internamente, foi capaz

de institucionalizar a inovação para que gerações sucessivas de talentos sustentassem e continuassem renovando a revolução tecnológica a longo prazo. No nível pessoal de inovação, os grandes grupos que a Licklider começou, por sua vez, compartilharam as principais características do Menlo Park, Rad Lab, entre outros. O grupo de Técnicas de Processamento de Informações da Licklider foi o primeiro e maior sucesso do modelo DARPA, mas esse sucesso não foi único, pois a DARPA foi capaz de alcançar realizações semelhantes em uma série de outras áreas de tecnologia.

Ademais, a DARPA está disposta a gerar avanços tecnológicos não apenas no setor de defesa, mas também na economia não-defesa, reconhecendo que uma escala de toda a economia em oposição a uma escala apenas do setor de defesa pode ser necessário para acelerar o avanço. Ela fez escolhas específicas para incentivar e apoiar os avanços tecnológicos com organizações não relacionadas à defesa, tanto acadêmicas quanto comerciais, em vez de organizações somente de defesa, como seu melhor meio de implementar novos conceitos. Isso permite que o DoD numa fase posterior para aproveitar esta velocidade de evolução tecnológica, com os correspondentes custos de desenvolvimento e aquisição partilhados e, portanto, reduzidos. Este foi exatamente o caso da revolução de TI para a qual Licklider e DARPA fizeram contribuições cruciais. Embora a TI esteja em um processo de desenvolvimento de trinta anos que ainda está em andamento, o suporte da DARPA e a confiança em um processo de desenvolvimento do setor principalmente civil permitiu ao DoD obter muito mais rapidamente e com baixo custo as ferramentas necessárias para resolver seu problema inicial de comando e controle.

Na verdade, o DoD obteve muito mais benefícios do que apenas essas ferramentas de comando e controle. Quando Andy Marshall, o lendário teórico de defesa interno do departamento e chefe do Office of Net Assessment, argumentou no final da década de 1980 que as forças dos EUA estavam criando uma “Revolução nos Assuntos Militares”, essa transformação da defesa foi construída em torno de muitos dos avanços inicialmente patrocinados pela DARPA. Os almirantes Bill Owens e Art Cebrowski, e outros, por sua vez, traduziram essa revolução de TI em um conceito funcional de “guerra centrada em rede” que permitiu aos EUA na última década alcançar um domínio sem paralelo na guerra convencional e a base dessa revolução de TI, permitindo essa transformação da defesa, foi uma grande onda de

inovação que varreu a economia dos EUA na década de 1990, criando fortes ganhos de produtividade e novos modelos de negócios que levaram à criação de nova riqueza social que, por sua vez, proporcionou a base de financiamento para a transformação da defesa. Desta maneira, o modelo DARPA pode apoiar o desenvolvimento de tecnologia tradicional no setor de defesa, onde essa tecnologia é principalmente ou predominantemente relevante para a defesa (como furtividade). Alternativamente, pode apoiar o desenvolvimento conjunto de tecnologia do setor civil de defesa onde a tecnologia é relevante para ambos. Isso permite que o DoD aproveite ao máximo a abertura da academia a novas ideias, a disposição dos empreendedores em comercializar essas inovações e a escala correspondente de um avanço em toda a economia.

## **6.5 Elementos chave do modelo DARPA**

O modelo DARPA se concentra no desenvolvimento tecnológico revolucionário, não apenas no avanço incremental, movendo uma tecnologia da ciência fundamental conectada através do desenvolvimento até as etapas de prototipagem, incentivando e promovendo seus conceitos com parceiros que a movem para a aquisição de serviços e/ou o setor civil para produção inicial, permitindo a inovação total e não simplesmente a invenção.

Entretanto, existem outras maneiras de a DARPA garantir a conectividade e aumentar sua capacidade de operar tanto no nível institucional quanto na organização de inovação pessoal. Ela desenvolveu a capacidade de fazer conexões de desenvolvimento de tecnologia em toda a P&D do DoD usando seu financiamento para alavancar contribuições de outras organizações de desenvolvimento de tecnologia de serviço militar do departamento, que por sua vez promovem a adaptação de serviços e a aquisição de seus protótipos. Ela também usa as outras agências de P&D do DoD como seus agentes administrativos que, nos dias em que essas estrelas se alinham, também promovem a colaboração interinstitucional e as aquisições de acompanhamento.

Primeiramente, a DARPA possui um porte pequeno e flexível, com até 150 profissionais, e uma organização plana, com apenas dois níveis de hierarquia. Ela também tem autonomia e liberdade de impedimentos burocráticos, já que, operando fora do processo de contratação do serviço público e das regras padrão de

contratação do governo, ela tem acesso incomum a talentos, além de velocidade e flexibilidade na organização de esforços de P&D. Afirmada tecnicamente, a agência tem autoridade de autoria de contratação “IPA”, o que lhe dá a capacidade de contratar pessoal empregado pela indústria ou universidades, e inventou “autoridade de outras transações” na contratação, o que lhe confere grande flexibilidade e rapidez na contratação fora do prazo federal normalmente longo. processo de procuração.

A DARPA também cria e sustenta grandes equipes de pesquisadores que estão em rede para colaborar e compartilhar os avanços da equipe, para que a DARPA opere no nível pessoal e presencial de inovação. As equipes técnicas da DARPA são contratadas por três a cinco anos. Como qualquer organização forte, a DARPA mistura experiência e mudança, mantendo uma base de especialistas experientes que conhecem o DoD, mas alterna a maioria de sua equipe de fora para garantir novas ideias e perspectivas. Além disso, ela utiliza serviços técnicos, de contratação e administrativos de outras agências de forma temporária. Isso fornece à DARPA a flexibilidade de entrar e sair de uma área de campo de tecnologia sem o ônus de sustentar a equipe, ao mesmo tempo em que constrói alianças cooperativas com as agências de linha com as quais trabalha.

Historicamente, o trabalho mais importante do diretor da DARPA tem sido recrutar gerentes de programa altamente talentosos e, em seguida, capacitar sua criatividade para reunir grandes equipes em torno de grandes avanços. Em áreas particularmente frutíferas, ela criou uma sucessão de líderes de projeto que compartilham e constroem uma visão comum de progresso ao longo do tempo, como no caso de Licklider e seus sucessores..

Com relação aos seus objetivos, a DARPA se concentra em metas tecnológicas ambiciosas, não em melhorias incrementais (Windham e Van Atta, 2019). Ela é uma agência de tecnologia e financia pesquisas avançadas para desenvolver ou criar novas tecnologias, não apenas para explorar a ciência. Sua missão é criar novas tecnologias valiosas. Ela pode apoiar a pesquisa científica básica, mas como meio para novas tecnologias valiosas, cujo desenvolvimento é sua missão. A DARPA também se concentra em projetos ambiciosos, difíceis (“DARPA Hard”) e potencialmente revolucionários. Ele não se concentra em melhorias imediatas ou incrementais na tecnologia, mas em tentar alcançar mudanças significativas ou mudanças nas capacidades técnicas.

Além disso, a agência procura criar “tecnologias inovadoras”, “transformadoras” ou “disruptivas”. Isso não é apenas a criação de novos dispositivos ou ferramentas, mas, em vez disso, o objetivo é criar novas possibilidades e capacidades e principalmente buscar tecnologias de “estado de mudança”, ou seja, tecnologias que alteram significativamente as capacidades existentes. Conseqüentemente, o foco está mais nos resultados do que no caráter específico das tecnologias que eles nutrem. Assim, por exemplo, às vezes uma tecnologia totalmente nova pode melhorar drasticamente as capacidades. Pode-se argumentar que a ARPANET foi um exemplo e uma tecnologia “descoberta” ou “transformadora”.

Os objetivos da DARPA não são apenas ambiciosos, mas eles também estão focados em desafios e oportunidades específicos, em vez de descobertas ou invenções gerais. Ela organiza uma parte significativa de seu portfólio em torno de desafios tecnológicos específicos e, portanto, funciona “da direita para a esquerda” no *pipeline* de P&D, prevendo novos recursos baseados em inovação e, em seguida, voltando aos avanços fundamentais que os levam até lá. Embora seus projetos normalmente durem de três a cinco anos, os principais desafios tecnológicos podem ser abordados em períodos de tempo muito mais longos, garantindo o investimento de longo prazo do paciente em uma série de etapas focadas e mantendo as equipes unidas para uma colaboração contínua.

A DARPA às vezes também financia a própria pesquisa científica básica, se essa pesquisa estiver ligada a objetivos técnicos importantes. O Gabinete de Ciências da Defesa da agência, por exemplo, financia pesquisas em física fundamental, materiais e matemática, mas principalmente com o objetivo de ajudar a desenvolver capacidades importantes. Nesse sentido, ela conecta a ciência com os desafios técnicos de uma maneira que espera levar a novas e valiosas capacidades técnicas.

A DARPA se concentra em projetos de “alto risco/alto retorno” e desenvolveu uma filosofia e um conjunto de procedimentos para gerenciar esse tipo de pesquisa. Primeiro, a agência está disposta a assumir grandes riscos técnicos para tentar obter resultados de “mudança de estado”. Ela não está interessada em melhorias incrementais em tecnologias ou sistemas de armas. Embora essas melhorias sejam importantes, especialmente para os militares, elas são da competência de outras agências de P&D. A missão específica da DARPA é desenvolver tecnologias novas

e, para isso, concentra-se em projetos que envolvem alto risco e possibilidade de fracasso, mas que também podem gerar altos retornos, se bem-sucedidos. Por isso, ela é muito tolerante ao fracasso.

No entanto, não há nada casual ou indiferente na maneira como ela assume riscos. Na verdade, pode-se chamar sua abordagem de tomada de risco “pensativa” ou “rigorosa”. Novos gerentes de programa e diretores de escritório são incentivados e esperados para financiar programas que oferecem a possibilidade de avanços significativos. Mas eles também devem pensar rigorosamente se as metas ambiciosas são alcançáveis e quais abordagens técnicas são mais promissoras. Os líderes das agências esperam que seus gerentes de programa consultem amplamente as comunidades técnicas relevantes e testem diversas vezes suas ideias e aprendam constantemente.

Essa ênfase de duas partes em metas ambiciosas e pensamento rigoroso é melhor vista em um conjunto de perguntas originalmente escritas por George Heilmeier, um notável inventor e diretor da DARPA de 1975 a 1977. Conhecidas como o Catecismo Heilmeier, essas são perguntas que devem se perguntar ao projetar novos programas, e estas são as perguntas que os diretores do escritório da DARPA e o diretor da agência farão quando esses gerentes de programa proporem novas iniciativas e quando revisarem esses programas:

- O que você está tentando fazer? Articule seus objetivos usando absolutamente nenhum jargão.
- Como é feito hoje e quais são os limites da prática atual?
- O que há de novo em sua abordagem e por que você acha que será bem-sucedida?
- Quem se importa?
- Se você for bem-sucedido, que diferença fará?
- Quais são os riscos e as recompensas?
- Quanto vai custar?
- Quanto tempo vai demorar?
- Quais são os “exames” intermediários e finais para verificar o sucesso?

Além dessa filosofia geral, a agência desenvolveu formas que podem ajudar a otimizar os resultados nesse ambiente de alto risco. Nesse sentido, a abordagem de “portfólio” da agência é importante. A agência toma decisões ponderadas, o que é possível porque recruta especialistas de classe mundial, com pleno conhecimento

de que P&D é imprevisível e que alguns programas e projetos falharão. De fato, se nenhuma falhasse, a cultura da agência afirma que ela não estaria fazendo seu trabalho, já que não seria ousada o suficiente. Investir em uma ampla gama de programas e em uma série de projetos e abordagens técnicas dentro desses programas aumenta as chances de que os investimentos da agência levem a alguns sucessos significativos, bem como a alguns fracassos.

Ademais, a DARPA espera que os programas e projetos de P&D dentro desses programas muitas vezes não saiam conforme o planejado. São projetos de pesquisa que abordam incógnitas e, portanto, é provável que ideias promissoras de P&D falhem, que novas oportunidades sejam descobertas e, portanto, os planos de P&D precisem ser ajustados. Assim, os gerentes do programa DARPA avaliam constantemente os projetos e trabalham com os executores para identificar obstáculos e oportunidades e fazer ajustes, pois seus contratos permitem que eles façam isso. A agência não força seus gerentes de programa ou executores de P&D a aderir a planos ou marcos irrealistas ou ineficazes. Os projetos certamente têm objetivos técnicos, mas espera-se que os projetos de P&D mudem à medida que os executores de P&D aprendem o que funciona e o que não funciona. Os próprios gerentes de programa e executores de P&D avaliam e se adaptam continuamente.

Portanto, na DARPA são esperadas falhas técnicas, pois são projetos de alto risco e nem todos terão sucesso. A DARPA e a comunidade técnica geral aprenderão com esses becos sem saída, e a agência encerrará programas malsucedidos e transferirá o financiamento para ideias mais promissoras. Como a agência não tem laboratórios ou pesquisadores para financiar ano após ano, ela tem a liberdade de se afastar de projetos malsucedidos para se concentrar em projetos promissores. Alguns líderes da DARPA afirmam que as únicas “verdadeiras falhas” ocorrem quando os executores de P&D não estão dispostos ou são incapazes de serem sinceros sobre os problemas técnicos que estão encontrando e, portanto, o processo de aprendizado falha.

## **6.6 Como o Departamento de Defesa inova em um setor legado**

Como todas as agências de P&D, a DARPA tem uma genealogia organizacional. Para entendê-la, é necessário voltar aos quatro modelos de como a

inovação é organizada nos EUA para colocar o modelo DARPA no contexto mais amplo.

Criado por Vannevar Bush, o primeiro modelo, *pipeline*, evoluiu logo após a Segunda Guerra Mundial. Ele coloca a pesquisa básica operando nas fronteiras do conhecimento e esta é fornecida pelo investimento governamental em pesquisa, levando à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento. Isso, por sua vez, leva à invenção, à prototipagem e, finalmente, à inovação e à ampla comercialização ou implantação correspondente.

O sucesso da energia atômica, radar e outras tecnologias na era da Segunda Guerra Mundial, derivados de avanços no conhecimento científico fundamental, inspirou o modelo e, portanto, ele levou a uma série de avanços tecnológicos. É um modelo de "impulso tecnológico", com o governo apoiando a pesquisa inicial com apenas um papel limitado em pressionar esses avanços para o mercado. Portanto, é um modelo inerentemente desconectado, com pesquisadores separados dos implementadores da indústria.

O segundo modelo é o de inovação induzida, explorado pelo economista Vernon Ruttan, no qual tecnologia e inovação tecnológica respondem a mudanças no mercado, geralmente a oportunidades de nicho de mercado e sinais de preço. É tipicamente liderado pela indústria e novos produtos neste modelo geralmente são gerados a partir de modificações de tecnologias existentes para atender às novas necessidades do mercado, os avanços incrementais, em vez de emergir da pesquisa básica. Este modelo envolve "atração tecnológica", que é quando o mercado puxa as inovações tecnológicas das empresas para a implementação no mercado.

O terceiro modelo é uma variação do primeiro e é conhecido como *pipeline* estendido. Ele descreve o papel do DoD, que não poderia viver com a ineficiência hereditária do modelo *pipeline*, no qual as instituições de inovação são desconectadas. Nesse modelo, o DoD não apenas financia os estágios iniciais da pesquisa, mas também patrocina os estágios seguintes. Para obter as tecnologias que ele precisa para atender as necessidades de segurança nacional, muitas vezes o DoD vai financiar a pesquisa, o desenvolvimento, a prototipagem, o design do produto, a demonstração, os testes, até o financiamento de implementação e serve de mercado inicial. Partes importantes da tecnologia da informação, como a internet, foram desenvolvidas dessa maneira, mas esse tipo de desenvolvimento não foi o único.

O DoD foi responsável também por desenvolvimentos em aviação, eletrônicos, espaço, energia nuclear e computação usando esse modelo, setores que constituem a maior parte das ondas tecnológicas de inovação do século XX. Esse modelo conecta o estágio inicial com um papel governamental nas etapas seguintes do desenvolvimento, conectando os atores institucionais que dominam cada um. Avanços em agricultura e espaço também empregam o modelo *pipeline* estendido, e outras agências de P&D estão começando a emular cada vez mais esse sistema conectado. Diferentemente do modelo *pipeline*, ele opera em todos os estágios da inovação, e não apenas os primeiros.

O quarto modelo de inovação é a inovação liderada pela manufatura, que descreve inovações em tecnologias de produção, processos e produtos que emergem da expertise informada pela experiência em manufatura. Isso é aumentado pela pesquisa aplicada e desenvolvimento que é integrado ao processo produtivo. Ele é normalmente liderado pela indústria, mas com forte apoio industrial governamental. Enquanto países como Alemanha, Japão, Taiwan, Coreia e China organizaram suas economias ao redor dos sistemas de inovação liderados pela manufatura, os EUA no período pós-guerra não o fizeram, abrindo um gap em seu SNI. Esse gap de sistema começa a afetar a habilidade da DARPA e outras agências de P&D a traduzir suas tecnologias em inovação de verdade.

Os EUA prestaram pouca atenção à inovação liderada pela manufatura quando eles estavam construindo seu SNI no período após a guerra. Isso foi a força de inovação norte-americana desde o século XIX e criou um sistema de produção em massa que teve um papel central na vitória da Segunda Guerra Mundial. A produção não era o problema, uma vez que os EUA a dominavam. Ao invés disso, o país focou no seu sistema de pesquisa, o front end da inovação, que tinha emergido durante a guerra, mas que precisava ser retido e aumentado. Esse era o sistema que Vannevar Bush, como conselheiro de ciência do presidente Roosevelt, focou. Outros países, como a Alemanha e o Japão, emergindo do caos da guerra, tinham que se concentrar em reconstruir suas bases industriais e, portanto, desenvolveram e expandiram seus sistemas de inovação liderados pela manufatura. Enquanto suas economias emergiam, o Taiwan, a Coreia e a China precisaram construir suas bases industriais, e também seguiram o caminho da inovação liderada pela manufatura.

Além desses quatro modelos de inovação, Bonvillian (2019) sugere ainda um quinto modelo, organização da inovação, que é uma estrutura conceitual que inclui

os outros e se desenvolve a partir deles. A inovação pede não apenas fornecimento de tecnologia e uma demanda de mercado correspondente, mas também elementos organizacionais que são propriamente alinhados para conectar os dois. Os atores institucionais envolvidos, cuja força e capacidade determinam a força geral do sistema, foram examinados por Nelson (1993) no que ele chamou de SNI. É preciso que haja instituições concretas para inovação e mecanismos organizacionais conectando essas instituições a fim de facilitar a evolução de novas tecnologias em resposta às forças do impulso de tecnologia e do mercado. Esse quinto elemento é essencial para a estrutura de inovação, uma vez que a ideia de que a inovação requer organizações ancoradas nos setores público, acadêmico e privado, para formar a nova tecnologia e lançá-la, para que a teoria da inovação seja prática, criando ideias e meios para de fato implementá-los. O foco na literatura de política científica está na criação de ideias e a avaliação detalhada da implementação é amplamente ignorada.

Embora os quatro primeiros modelos de inovação sejam descritivos das formas existentes de organizar a inovação nos EUA, eles são limitados. O quarto fornece a metodologia de organização que engloba os três primeiros e vai além deles até o sistema de implementação da inovação. Inclui todo o ecossistema de inovação, desde a pesquisa até a implantação, mas também as forças da cultura, sistemas políticos e econômicos, rotinas tecnológicas e estruturas sociais para inovação. Isso também significa os mecanismos e agentes de mudança necessários para superar os obstáculos nesse ecossistema para permitir a inovação. Essas forças são especialmente profundas em setores econômicos "legados" complexos e estabelecidos, como energia, transporte, prestação de serviços de saúde, manufatura, ensino superior, agricultura e defesa.

Estes tendem a bloquear tecnologias estabelecidas e resistir a avanços tecnológicos que são diferentes e perturbam seu modelo econômico e tecnológico existente. Eles usam sistemas políticos, econômicos e sociais em sua defesa contra a inovação disruptiva. Ao reconhecer que existem instituições e mecanismos operando dentro de um sistema de inovação, legado ou não, o modelo de organização da inovação permite uma avaliação mais rica da inovação e das políticas potenciais para melhorar o sistema como um todo. Portanto, o modelo de organização da inovação vai além da ideia de vinculação institucional do modelo de *pipeline* estendido para abranger uma série de elementos para fornecer uma

imagem maior da inovação: conectar os setores público e privado, da pesquisa à implementação; fusão de *pipeline* e inovação induzida, radical e incremental; superação de barreiras estruturais à inovação particularmente relevantes para setores legados; e abraçando conscientemente os agentes de mudança.

O DoD encontrou um jeito de implementar tecnologias revolucionárias e gerar inovações significantes. Diferentemente de outros setores legados nos quais inovações revolucionárias e disruptivas definham, o DoD as implementou, porque o DoD tinha duas grandes vantagens no gerenciamento de mudanças em seu setor legado resistente a mudanças e entrincheirado. A primeira é o desenvolvimento da DARPA.

Bonvillian (2019) encaixa a agência no modelo pipeline estendido, uma vez que ela foi capaz de desenvolver características que a permitem inovar no setor legado de defesa. Isso significa que ela apresenta, também, algumas características chave do modelo de inovação organizacional. Ela é uma entidade de inovação única cujo foco era não apenas avanços tecnológicos radicais, mas também a inovação como um sistema e tentativa de resolver quebra cabeças profundos em torno da implementação. A DARPA também opera fora das pressões do setor de defesa legado e foi criada e desenhada como resultado do Sputnik com o objetivo de levar mudanças inovadoras ao DoD afetado pelos problemas legados.

Portanto, para a DARPA, é de extrema importância trazer capacidades de inovação ao front-end para influenciar os setores legados. Uma lição importante da capacidade dela de trazer inovação para um setor de defesa com profundas características de legado tem sido a importância de instituições críticas de inovação. Essas instituições devem tentar incorporar tanto a "ciência e tecnologia conectadas", vinculando a pesquisa científica aos estágios de implementação, quanto as abordagens de "desafio", buscando os principais desafios tecnológicos da missão. A inovação requer não apenas um processo de criação de desafios de ciência e tecnologia conectados no nível institucional, mas também deve operar no nível pessoal.

O estágio crítico da inovação é face à face, não institucional. Portanto, enquanto instituições nas quais o talento e a P&D se juntam são requeridas, dinâmicas pessoais, geralmente apresentadas em grandes grupos, são necessários. O modelo direita-esquerda de pesquisa da DARPA pode ser importante para atingir o estágio de inovação, no qual gerentes de programa contemplam os avanços

tecnológicos revolucionários que eles querem atingir a partir da extremidade direita do *pipeline* de inovação, voltam para a extremidade esquerda e veem as propostas para a pesquisa revolucionária que os levará até elas. Esse processo gera avanços tecnológicos revolucionários que podem transformar um setor de tecnologia. Um processo de visão de uma tecnologia no início do esforço parece ser uma chave específica. A abordagem resulta na busca de projetos de alto risco, mas de alta recompensa.

Segundo Bonvillian (2019), o time de inovação deve ser como uma ilha, protegido, separado das influências burocráticas que podem arruiná-los, para que eles possam focar no processo de inovação. A força do processo de inovação também dependerá da construção de uma comunidade de pensamento sólido como fonte para ideias e apoio. Porque a inovação deve consistir em várias etapas, desde a pesquisa até a produção inicial, os meios para conectar tecnologistas para operadores parecem ser críticos. Por fim, agentes de mudança serão requeridos para levar a inovação até a implementação.

Em segundo lugar, a DARPA sozinha não foi suficiente. Ao contrário da maioria dos setores legados, o DOD tem um funcionário, o Secretário de Defesa, que por lei deve ser um civil, que pode exercer autoridade para forçar mudanças. Se o Secretário perceber a necessidade de uma mudança de tecnologia, ele pode reunir o poder, apesar de todas as verificações do setor legado no sistema, para direcioná-lo. A DARPA foi bem-sucedida ao vincular seu avanço tecnológico a um líder sênior de defesa no Gabinete do Secretário que está preparado para superar as pressões do legado e ser um agente de mudança. Naturalmente, o DoD enfrentou uma pressão adicional intensa por mudança, atendendo às necessidades de segurança nacional, mas essas duas características, uma forte inovação de *front-end* ligada a agentes de mudança, permanecem centrais.

Portanto, a DARPA possui lições importantes para os outros setores legados: uma agência de inovação conectada, usando o modelo de *pipeline* estendido que está fora do sistema legado, e depois ligado a uma fonte de poder que pode direcionar a mudança, um agente de mudança, que provou ser uma combinação vital na habilidade do setor de defesa em inovar. A perspectiva de longa data da DARPA é que seus sucessos foram no setor de "fronteira" e é justamente aclamado por seu papel fundamental na revolução de TI. Mas há uma perspectiva menos

compreendida sobre a DARPA que constitui o outro lado da moeda: ela trouxe inovação radical e disruptiva para um setor legado.

Nesse sentido, a agência não pertence ao modelo *pipeline* estendido, pois ela também desenvolveu características que a possibilitaram inovar em um setor de defesa legado. Isso significa que ela também representa características chave do modelo de inovação organizacional. Setores legados usam barreiras de sistema políticas, tecnológicas, econômicas e sociais em sua defesa contra a inovação disruptiva. O modelo de inovação organizacional reconhece que existem diversas instituições e mecanismos operando dentro de um sistema de inovação, particularmente em setores legados, e isso pede uma avaliação mais detalhada da inovação e potenciais políticas para mudar o sistema em geral. A DARPA e seus aliados seniores do DoD encontraram maneiras de impor essa combinação mais rica de políticas. Essa combinação de forte capacidade de inovação de front-end e agentes de mudança fornece lições básicas para inovação em outros setores legados que vão muito além da defesa de outras partes importantes da economia.

## **6.7 Clones: os modelos ARPA-E e IARPA**

A partir do sucesso do modelo DARPA, outras agências foram criadas aos moldes do mesmo e são, portanto, “clones”, mas atuando em áreas diferentes. A Agência do Projeto de Pesquisa Avançada-Energia (ARPA-E) foi formada em 2009 para trazer uma abordagem semelhante à DARPA ao desafio das tecnologias avançadas de energia. A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Inteligência (IARPA) começou a operar em 2007, trazendo um modelo DARPA para o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à inteligência. Assim como a DARPA, esses dois modelos operam como intermediários do setor público, buscando pesquisas inovadoras, mas também promovendo ativamente sua implementação. Eles são, portanto, muito mais ativistas do que a agência de missão americana padrão de P&D, atuando como agentes de mudança dentro dos setores muitas vezes conservadores “legados” aos quais servem (Bonvillian e Van Atta, 2011).

### *6.7.1 O modelo ARPA-E*

A ARPA-E foi proposta pela primeira vez em um relatório das Academias Nacionais de Ciência, Engenharia e Medicina em 2006 para trazer o mecanismo DARPA para enfrentar o desafio de desenvolvimento de tecnologias de energia necessárias e revolucionárias. O Congresso autorizou a criação da agência em 2007 e forneceu dotações iniciais em 2009. Posteriormente, recebeu cerca de US\$ 300 milhões em dotações anuais em comparação com os aproximadamente US\$ 3 bilhões da DARPA. Portanto, a ARPA-E é do tamanho de um escritório da DARPA.

A ARPA-E foi formada por um diretor, Arun Majumdar, e funcionários fluentes no modelo DARPA, que replicaram os elementos-chave deste modelo. Além das características particulares da DARPA, a discussão também se concentrou em quatro papéis gerais que ela interpreta como intermediária de inovação e agente de mudança: seu papel como uma instituição crítica de inovação em estágios iniciais de inovação, sua ligação com os tomadores de decisão de implementação por meio do modelo Ilha/Ponte, seu papel na promoção de uma comunidade de pensamento para permitir e desenvolver suas inovações e sua capacidade de conectar inovadores com operadores para permitir a implementação. A ARPA-E desempenha essas funções dentro de sua missão de tecnologia de energia, mas como o setor de energia da ARPA-E é diferente do setor de defesa da DARPA, ela teve que se adaptar. A DARPA conseguiu alavancar sua posição no DoD, uma importante agência de aquisição de tecnologia, para implementar muitas de suas inovações. Em contraste, o Departamento de Energia (DE) não desempenha um papel de aquisição. As tecnologias do ARPA-E devem ser implementadas no setor privado, um setor legado massivo dominado por empresas de combustíveis fósseis. Essa tarefa de implementação diferente exigiu que o ARPA-E fosse moldada ao modelo DARPA, categorizado em três grandes áreas. Embora a descrição da DARPA tenha uma visão de alto nível de seu papel geral no sistema de inovação, a descrição dos recursos um pouco diferentes do ARPA-E tende a adotar uma abordagem mais básica.

Em primeiro lugar, toda organização de inovação forte, como grupos de pesquisa, *startups*, empresas e agências federais de pesquisa, deve construir uma forte cultura de inovação. As culturas organizacionais no espaço de inovação tendem a se fixar bem cedo na história organizacional e, uma vez estabelecidos, os padrões de interações e desempenho ficam enraizados na cultura da entidade. Os líderes da ARPA-E tinham experiência em diversas culturas organizacionais de

inovação, incluindo a DARPA, e trabalharam para construir sua própria cultura de inovação dentro da ARPA-E.

O diretor e os diretores de projeto da ARPA-E, equivalentes aos gerentes de programa da DARPA, enfatizam que estão trabalhando no que chamam de espaço em branco de oportunidades tecnológicas. Começando com seus primeiros “prêmios de pesquisa”, eles afirmam que tentaram conscientemente financiar projetos de maior risco que poderiam ser inovadores e transformadores em áreas de energia onde pouco trabalho havia sido realizado anteriormente. Isso significa que os prêmios de pesquisa são feitos buscando transformações, não avanços incrementais. Comparável ao modelo DARPA, essa abordagem colocou a visão de tecnologia na frente do processo de nutrição de pesquisa da ARPA-E.

A ARPA-E implementou um processo de seleção em duas etapas, oferecendo aos candidatos a chance de oferecer *feedback* à rodada inicial de avaliações. Essa "segunda tentativa" e "loop de *feedback*" no processo de revisão melhoraram as avaliações porque os diretores de projeto sabem que suas conclusões serão criticadas, ajudaram a educar os diretores de projeto em novos desenvolvimentos de tecnologia e resultaram em várias reconsiderações de aplicações, melhorando a portfólio geral de pesquisas da ARPA-E.

Os diretores de projeto formam, junto ao diretor, macro desafios dentro dos setores que lideram e mantêm um forte controle sobre seus portfólios de pesquisa. Eles são "empoderados", assim como os gerentes de projeto da DARPA. Antes que um diretor de projeto possa selecionar um projeto de tecnologia, ele precisa "vendê-lo" ao diretor e a proposta muitas vezes também precisa sobreviver a rodadas de *brainstorming* e verificação com colegas diretores de projeto. Os diretores de projeto precisam ter o que chamam de "religião", ou seja, eles têm uma visão de onde querem levar seus portfólios para vender seus projetos dentro e fora da ARPA-E. Parte da "religião", então, é que eles devem trabalhar para serem implementadores da visão. Os diretores do projeto ARPA-E expressaram a opinião de que "religião" é a qualidade mais crítica do gerente de projeto, além da excelência técnica. Portanto, a ARPA-E usa o modelo de "gerente de programa forte" da DARPA para seleções de prêmios de pesquisa e pede aos gerentes de programa que exerçam zelo no avanço de tecnologias selecionadas durante o estágio de implementação, e a ARPA-E impulsionou esse modelo. Ela propositalmente não criou um processo formal de avaliação de pessoal para seus diretores de projeto. Como na DARPA, os

diretores de projeto dizem que devem "gerenciar os resultados", e são julgados pelo diretor e seus colegas, com base em impacto e resultados dos portfólios que eles selecionam.

Ademais, todos os projetos ARPA-E são selecionados para iniciar avanços de energia. No entanto, dentro desse amplo requisito, à medida que os diretores de projeto montam seus portfólios em torno de uma área de desafio específica, eles dizem que descobriram que precisam de uma "mistura de riscos". Eles geralmente incluem alguns projetos "lá fora" que podem ou não se materializar e que são de alto risco, mas a tecnologia é tão potencialmente importante que vale a pena persegui-la. Mas para a maioria das outras tecnologias de portfólio, os diretores de projeto querem ver se podem ser implementadas em um período razoável, que podem atingir uma faixa de custo que facilite a entrada e a comercialização. Portanto, há uma mistura de equilíbrio de portfólio entre ênfase de fronteira e aplicada, ciência e tecnologia.

Assim como na DARPA, os diretores do projeto da ARPA-E adotaram um relacionamento prático com os gerentes de projetos premiados, conversando e se reunindo em intervalos frequentes para apoiar seu progresso e ajudar a superar barreiras e, quando estiverem prontos, promover contatos com financiamento de empreendimentos e comerciais. Na maioria das agências de pesquisa, o trabalho do gerente de programa concentra-se no processo de seleção de prêmios, enquanto na ARPA-E, isso é apenas o começo. Os diretores de projeto veem seus trabalhos como facilitadores de tecnologia, ajudando seus clientes de tecnologia com as barreiras de implementação.

Uma outra característica da ARPA-E é a construção de uma comunidade de apoio. Ela, uma pequena agência de P&D acampada entre agências de P&D do DE muito maiores, precisou de colaboradores para alavancar sua pesquisa básica e aplicada. Portanto, trabalhou desde o início na construção de conexões internas dentro do DE. Como a P&D do Departamento está organizada em pesquisas básicas e em pesquisas aplicadas, a ARPA-E descobriu que poderia servir a ambos os lados, trabalhando para ser um conector de tecnologia dentro do DE, particularmente com as agências aplicadas. Ela também trabalhou para incluir os principais laboratórios de energia em seus consórcios de pesquisa, para que os laboratórios a vejam não apenas como um concorrente de financiamento, mas um patrocinador de financiamento.

A ARPA-E também realiza fóruns anuais de vários dias a cada primavera para ajudar seus premiados a construir relações com empresas de capital de risco (VC) e grandes e pequenas empresas de energia e tecnologia. Essas cúpulas de inovação em energia se tornaram um dos maiores e mais importantes eventos de vitrine de tecnologia de energia do país, atraindo grande público e apresentando líderes empresariais, executivos e bipartidários proeminentes do Congresso em papéis de palestrantes. VCs e empresas de energia se aglomeram anualmente em torno das tecnologias ARPA-E, construindo comunicação entre os participantes, qualquer que seja sua função, além de que as cúpulas ajudaram na construção de uma comunidade de tecnologia de energia avançada em torno da ARPA-E. Isso ajudou o crescente campo da tecnologia de energia a destacar tecnologias emergentes para potenciais financiadores do setor privado e desempenhou um papel importante ao colocá-la no mapa como uma agência inovadora.

O diretor e os diretores de projeto da ARPA-E estão cientes de sua difícil tarefa de lançar tecnologia no complexo e estabelecido setor legado de energia. A ARPA-E tomou, portanto, uma série de passos para ajudar a levar sua tecnologia para implementação, comercialização e implantação.

Os diretores do projeto ARPA-E consideram o processo de implementação das tecnologias que estão considerando. Antes de financiar um projeto, eles avaliam o processo de *stand up* da tecnologia e como isso pode evoluir. Seu foco não é simplesmente em novas tecnologias, uma vez que eles procuram financiar projetos onde possam ver um caminho plausível para a implementação. Isso é auxiliado pelo fato de que os diretores do projeto ARPA-E geralmente têm experiência no setor acadêmico e comercial. No lado comercial, essa experiência vai desde o trabalho em empresas e empresas de VC, até a participação em empresas *start up* de base tecnológica. Essa gama de formação nos setores acadêmico e privado auxilia na compreensão de possíveis caminhos de comercialização.

Em seu passo mais significativo em direção à implementação de suas tecnologias, a ARPA-E montou uma equipe conhecida como *Tech to Market* (Tecnologia para o Mercado), trabalhando em tempo integral para promover a implementação e os avanços comerciais das tecnologias ARPA-E. Os membros da equipe trabalham com diretores de projetos específicos nas tecnologias mais promissoras que emergem de seus portfólios. Até a ARPA-E, nenhuma outra entidade de P&D dos EUA havia formado um esforço de comercialização tão

explícito. As táticas que esta equipe desenvolve na implementação de tecnologias podem incluir a criação de abordagens de acompanhamento para tecnologias financiadas pela ARPA-E por meio de *links* com programas aplicados pelo DE, conexões com bancos de teste e compras do DoD e conexões com VCs e colaboradores interessados da empresa, ou combinações desses. Seu trabalho inclui a identificação de primeiros mercados e nichos de mercado para tecnologias ARPA-E. No elogio final ao ARPA-E, a DARPA gostou tanto do programa que contratou o diretor de *Tech to Market* da ARPA-E para realizar o mesmo trabalho na DARPA.

A ARPA-E conscientemente tira vantagem do "efeito halo". Quando o ARPA-E seleciona um projeto a um prêmio de pesquisa, os VCs e as empresas comerciais geralmente estão dispostos a pegá-lo e comercializá-lo. Em outras palavras, o setor privado vê o processo de seleção de projetos da ARPA-E como rigoroso e sólido o suficiente para estar preparado para financiar projetos resultantes desse processo.

O processo *stage-gate* é usado pela maioria das grandes empresas de alguma forma no gerenciamento de P&D e desenvolvimento de tecnologia. Nessa abordagem, os projetos de tecnologia candidatos são reavaliados em cada estágio de desenvolvimento, eliminados e apenas os mais promissores de uma perspectiva de sucesso comercial passam para o próximo estágio. Entretanto, este não é um processo empregado pela ARPA-E. Como a DARPA, ela coloca a visão de tecnologia à frente em seu processo e adota uma abordagem de alto risco/alta recompensa para atender à visão de tecnologia. Reconhecendo que as empresas usam a abordagem *stage-gate*, a ARPA-E trabalhou com seus pesquisadores para colocar suas tecnologias em condições de sobreviver. Para pesquisadores acadêmicos em particular, este não é um processo familiar. Como a maioria das tecnologias de energia de geração inicial são tecnologias de componentes e terão que se encaixar em sistemas e plataformas existentes controlados por empresas existentes, os diretores do projeto ARPA-E estão reconhecendo que muitas das tecnologias que ela nutre devem se encaixar na prática da indústria do *stage-gate* se quiserem se conectar com a indústria. Portanto, preparar suas tecnologias e tecnólogos para resistir a esse processo tornou-se um passo significativo em direção à comercialização.

Novas tecnologias de energia podem levar duas décadas para escalar, e a ARPA-E tem apenas 7 anos. No entanto, a ARPA-E informou em 2017 que, desde

2009, forneceu aproximadamente US\$ 1,3 bilhões por meio de 30 programas focados e três solicitações de financiamento aberto para cerca de 475 projetos (Neumann et al., 2018). Desses, 206 eram agora projetos de "ex-alunos" e o resto estava em andamento. As equipes de projeto da ARPA-E publicaram cumulativamente 1.104 artigos técnicos revisados por pares que foram citados 13.518 vezes e receberam 101 patentes. Muitas equipes alavancaram com sucesso o investimento da ARPA-E: 36 iniciaram novas empresas, 60 continuaram seu desenvolvimento de tecnologia com outros apoios governamentais e 45 levantaram cumulativamente US\$ 1,25 bilhão em financiamento divulgado publicamente do setor privado para trazer suas tecnologias para aplicações comerciais.

Recentemente, ela enfrentou desafios para sua sobrevivência porque o governo Trump, que propôs cortes na pesquisa e desenvolvimento de energia alternativa, propôs fechá-la, embora o Congresso continue a sustentá-la.

#### *6.7.2 O modelo IARPA*

A primeira diretora da IARPA, Lisa Porter, nomeada em 2008, foi uma ex-gerente do programa DARPA que entendeu e tentou conscientemente replicar os pontos fortes da DARPA e a abordagem de alto risco/alta recompensa. Tanto a IARPA quanto a DARPA contratam gerentes de programa por prazos limitados com excelentes credenciais e experiência científica e de engenharia. Assim como a DARPA, a IARPA seleciona competitivamente novos projetos para financiamento, não tem laboratório e não realiza pesquisas próprias, concedendo de forma competitiva contratos de pesquisa e subsídios a equipes líderes de pesquisadores acadêmicos e do setor, usando gerentes de programa fortes sem sistemas de revisão por pares. Também como a DARPA, os programas têm objetivos claros e fins definidos. As equipes do programa são avaliadas regularmente e muitas vezes as equipes são cortadas antes que o programa termine, dependendo do progresso. Entretanto, também há diferenças significativas. Enquanto a DARPA apoia missões de defesa, a IARPA apoia missões de inteligência nacional, que podem envolver tecnologias bem diferentes.

Existem cinco principais mecanismos organizacionais da IARPA para promover seu papel de inovação. O primeiro são os torneios e testes de implementação de tecnologia. De acordo com seu diretor de 2014 a 2018, Jason

Matheny, muitos dos programas da IARPA são organizados como torneios nos quais várias equipes são financiadas em paralelo para perseguir os mesmos objetivos técnicos, pontuados em um conjunto comum de métricas. Essa abordagem competitiva tende a produzir uma gama de soluções e caminhos possíveis. Como resultado, a IARPA gasta aproximadamente 25% de seu orçamento em testes e avaliações independentes. Essa fase de testes desempenha um papel tão central na IARPA que conta com um Chefe de Testes e Avaliação, com o apoio do contratante, para garantir que esses testes sigam as melhores práticas em desenho experimental e inferência estatística. A abordagem do torneio e a forte ênfase nos testes constituem uma abordagem diferente para a implementação de tecnologia da DARPA e ARPA-E.

O segundo mecanismo é a capacitação dos gerentes de programa. O forte papel de gerente de programa é comparável ao da DARPA, sendo que a IARPA tem cerca de 25 gerentes de programa em comparação com aproximadamente 100 na DARPA e 15 na ARPA-E. Os gerentes de programa devem nutrir e lançar seus programas propostos, e o diretor e o vice-diretor então se movem rapidamente para aprová-los para financiamento. Além disso, os gerentes de programa têm ampla independência para gerenciar seus programas dentro de seus orçamentos aprovados. Eles escrevem as solicitações de propostas, lideram as revisões de propostas e tomam as decisões relativas à direção e avaliação do programa. A cada seis meses, cada programa é revisado pela equipe sênior da IARPA, por revisores técnicos externos e por parceiros de transição, para reavaliar se o financiamento contínuo é justificado para todas as equipes de pesquisa e para o programa como um todo. Normalmente, pelo menos uma equipe é cortada por fase do programa. Em alguns casos, os programas são descontinuados. Assim como no DARPA e no ARPA-E, os gerentes de programa da IARPA têm um relacionamento prático com suas equipes de pesquisa. Os gerentes de programa fazem teleconferências a cada duas semanas com cada equipe, revisam relatórios mensais escritos de cada equipe e realizam reuniões presenciais com cada equipe a cada trimestre.

Em 2017, a IARPA financiou pesquisas em mais de 500 organizações em mais de uma dúzia de países, de acordo com seu diretor (Bonvillian, 2018). Cerca de um terço do financiamento da IARPA vai para universidades, um terço para pequenas empresas, um sexto para grandes empresas e o resto vai para os Centros de Pesquisa e Desenvolvimento Financiados pelo Governo Federal e laboratórios

governamentais. Assim, seus gerentes de programa têm uma gama completa de atores de inovação para selecionar. A maior parte de seu financiamento de P&D vai para pesquisa em computação, aprendizado de máquina, julgamento humano, sensores e plataformas de TI de inteligência. A DARPA e a ARPA-E se orgulham de sua capacidade de contratar seus gerentes de programa rapidamente, fora dos procedimentos tradicionais de contratação de funcionários públicos, o que os ajuda a enfrentar rapidamente os desafios da tecnologia. A IARPA, no entanto, enfrenta um grande desafio por causa de seu longo prazo para contratação de gerentes de programas, porque eles devem obter uma autorização de segurança de alto nível antes de iniciar o trabalho. Isso leva vários meses e, em alguns casos, podem levar mais de um ano.

O terceiro mecanismo é garantir a adesão dos clientes da agência. O foco em tecnologia de inteligência resulta em mudanças organizacionais em comparação com a DARPA, assim como o foco de energia da ARPA-E exigia mudanças. A pesquisa da IARPA tende a se concentrar nos principais problemas de inteligência que limitam os mercados comerciais. Por exemplo, programas em computação quântica e computação supercondutora têm poucas aplicações comerciais de curto prazo. Seu trabalho em processamento de linguagem natural concentra-se em linguagens de pouco interesse comercial. Como resultado, tem poucas saídas comerciais para suas pesquisas e se concentra na transição de tecnologia diretamente para as agências de inteligência. Assim, enquanto a DARPA defende suas iniciativas de computação no setor privado, e a ARPA-E deve sustentar suas iniciativas de energia no setor privado, a IARPA deve focar exclusivamente em agências de inteligência do governo como clientes de suas tecnologias. Embora isso possa significar um caminho mais seguro para a implementação de tecnologia, a inteligência também é um setor burocrático há muito estabelecido com recursos herdados.

Há oportunidades de transbordamento ao longo do tempo para o setor privado, no entanto, porque existem processos de pesquisa relativamente abertos, uma vez que a maior parte da pesquisa da IARPA não é classificada. Tal pesquisa é amplamente aberta a pesquisadores universitários e à participação estrangeira, e não tem restrições de publicação e é publicada em periódicos revisados por pares.

A transição focada na agência enfrenta desafios de implementação de tecnologia. Um total de 70% dos seus programas além de seu ponto médio, segundo

seu diretor, alcançaram pelo menos uma transição de tecnologia para uma agência de inteligência. No entanto, a comunidade de inteligência carece da grande base industrial do DoD e da gama de laboratórios e então a agência precisa fazer esforços especiais para apoiar a transição de tecnologia diretamente com as agências de inteligência. Em particular, tem um Chefe de Transição de Tecnologia em tempo integral com suporte contratado para trabalhar com esses clientes potenciais do governo. Este grupo é análogo à equipe de tecnologia para mercado da DARPA.

A IARPA trabalha diretamente com a comunidade de inteligência para implementar suas tecnologias. Envolve os parceiros de transição da agência de TI na apresentação do programa, nas revisões de propostas e nas revisões do programa. Os planos de transição de tecnologia com a agência interessada são normalmente desenvolvidos durante o segundo ou terceiro ano de um programa, e são apoiados diretamente pelo Chefe de Transição de Tecnologia. A forte ênfase em testes e avaliações da IARPA também ajuda a possibilitar transições de agências, uma vez que as tecnologias que elas podem estar considerando foram submetidas, na verdade, a um processo de validação. Há lições significativas dessas etapas para integrar o desenvolvimento de tecnologia com as agências do cliente. Esses esforços de transição conscientes marcam a IARPA como um tipo diferente de entidade de P&D, usando o modelo de *pipeline* estendido.

O quarto mecanismo é o desenvolvimento de tecnologia multigeracional. Tanto a DARPA quanto a ARPA-E enfrentaram desafios ao empreender o desenvolvimento de tecnologia multigeracional. Ou seja, a IARPA também tem que lidar com o desafio de que os gerentes de programa ficam na agência por um prazo limitado e, como ele nutre uma área, então precisa ser pensado como ela será sustentada após a sua saída. Portanto, os gerentes de programas da IARPA geralmente recrutam seus substitutos e os funcionários contratados da IARPA que apoiam os gerentes de programa geralmente servem como memória institucional para vários gerentes. Em vários casos, um programa pode ser organizado para lançar as bases para o próximo. Por exemplo, o trabalho da IARPA em computação quântica foi organizado ao longo de um conjunto de marcos técnicos sequenciais, que podem passar de um gerenciador de programa para outro.

O quinto e último mecanismo são as comunidades de pensamento interdisciplinares. Assim como a DARPA e a ARPA-E, a IARPA trabalhou para

construir uma “comunidade de pensamento” em torno de suas áreas de foco de pesquisa, mas acrescentou um elemento interessante. A maioria dos programas da IARPA requer a formação de equipes de pesquisa que “atravessam” disciplinas. Em alguns casos, essas comunidades de pesquisa não interagiram anteriormente. Por exemplo, de acordo com seu diretor, o trabalho da IARPA na ciência social da segurança cibernética reuniu sociólogos e especialistas em segurança cibernética, e seu trabalho em previsão geopolítica reuniu cientistas políticos e cientistas da computação. Essas comunidades de pensamento multidisciplinares, particularmente nas ciências sociais e físicas, são um recurso interessante da IARPA.

Como suas tecnologias atendem às necessidades de inteligência, é difícil avaliar as métricas de sucesso da IARPA. No entanto, a pesquisa de computação quântica apoiada pela IARPA foi nomeada Revelação do Ano pela revista Science em 2010. Em 2015, a IARPA foi nomeada para liderar a pesquisa e desenvolvimento fundamental na Iniciativa Nacional de Computação Estratégica Interagências, em 2014, fez parte da Iniciativa BRAIN interagências e, em 2016, fez parte do Grande Desafio Inspirado em Nanotecnologia para Computação do Futuro. Todos esses são sinais externos de forte capacidade técnica, além de sua taxa de 70% de transição de tecnologias para agências.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral deste trabalho é relatar o contexto histórico que possibilitou o surgimento da Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA) dentro do Sistema Nacional de Inovação americano, e também identificar os elementos que a tornam uma agência capaz de produzir inovações disruptivas, através de uma revisão literária.

As inovações disruptivas provocam rupturas com os padrões, modelos e/ou tecnologias já estabelecidas no mercado. Nesse sentido, em um ambiente em que diversos atores dentro de um país se combinam para desenvolvê-las, assim como outros tipos de inovação, a DARPA se destaca por coordenar projetos de curta duração, mas com impactos revolucionários duradouros.

Historicamente, o principal objetivo da DARPA é fazer investimentos cruciais em tecnologias inovadoras para a segurança nacional. Como o principal motor de inovação dentro do Departamento de Defesa (DoD), além um orçamento significativo, ela possui um porte pequeno e flexível, apenas dois níveis de hierarquia, e times de projeto temporários e sem laboratórios próprios. Ela também está disposta a assumir projetos de alto risco, que possam vir a ter grandes benefícios, além de ter autonomia e liberdade de impedimentos burocráticos.

No centro da história da DARPA estão os gerentes de programa, que vêm da academia, indústria e agências governamentais por períodos limitados, geralmente de três a cinco anos. Esse prazo alimenta a urgência para se alcançar o sucesso em menos tempo do que pode ser considerado razoável em um ambiente convencional. Nesse sentido, a agência faz um grande esforço para identificar, recrutar e apoiar excelentes gerentes, indivíduos extraordinários que estão no topo de suas áreas e estão famintos pela oportunidade de ultrapassar os limites de suas disciplinas.

Uma lição que o Brasil poderia advir do modelo DARPA diz respeito a criação de comunidades técnicas. Ao financiar equipes multidisciplinares que competem e cooperam entre si, a DARPA geralmente ajuda a criar novas comunidades técnicas e novos campos acadêmicos. Desta maneira, a agência faz contribuições importantes em dois aspectos: não apenas ajuda a criar e demonstrar novas tecnologias, mas também ajuda a criar novas comunidades técnicas importantes. Os seus pesquisadores podem realizar P&D adicional, ensinar os alunos e contribuir

com mais ideias para a DARPA, bem como comercializar as tecnologias. De fato, as comunidades financiadas pela DARPA são o principal meio de transição das tecnologias recém-desenvolvidas para as empresas.

Por outro lado, o país também pode aprender com a DARPA que a agência não é bem-sucedida por si só, mas seu sucesso está nas oportunidades que cria e que os outros concretizam. Assim, seu sucesso deve se basear em uma maior infraestrutura de inovação nacional. Para que a pesquisa DARPA seja bem-sucedida, ela deve eventualmente culminar na transição, seja em uma capacidade militar operacional ou em um novo campo de tecnologia. Ela em si não é responsável pela execução de transições, mas depende da existência de caminhos de transição eficazes, os quais precisam ser melhor compreendidos, e outras partes interessadas, além da DARPA, precisam apoiar as medidas que promovem a transição, seja no próprio DoD ou na indústria. Para que a DARPA ou qualquer agência que se baseie no modelo DARPA, continue a ter impactos transformadores, ela deve existir dentro de um ambiente econômico e político que incentive a implementação, a fim de garantir que ela possa continuar a fornecer tecnologias inovadoras no futuro.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, Matthew M.C. The national innovation system in Germany. **Encyclopedia of Technology and Innovation Management**, v. 13, p. 375-389, jan. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom130047>. Acesso em: 15/05/2022.

ARORA, Ashish; BELENZON, Sharon; PATACCONI, Andrea. **Industrial and Corporate Change**, Oxford, v. 28, n. 2; p. 289-307, abr. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/dty067>. Acesso em: 20/06/2022.

ATKINSON, Robert D. Understanding the U.S. National Innovation System. **Information Technology and Innovation Foundation**, Whashington, jun. 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3079822>. Acesso em: 15/05/2022.

BONVILLIAN, William B. DARPA and its ARPA-E and IARPA clones: a unique innovation organization. **Industrial and Corporate Change**, v. 27, n. 5, p. 897-914, set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/dty026>. Acesso em: 21/07/2022.

BONVILLIAN, William B.; VAN ATTA, Richard; WINDHAM, Patrick. **The DARPA model for Transformative Technologies**. Reino Unido: Open Book Publishers, 2019.

BOWER, Joseph L.; CHRISTENSEN, Clayton M. Disruptive Technologies: Catching the Wave. **Harvard Business Review**, Cambridge, v. 73, n. 1; p. 43-53, jan./fev. 1995. Disponível em: <https://hbr.org/1995/01/disruptive-technologies-catching-the-wave>. Acesso em: 24/06/2022.

BUSH, Vannevar. Science: The Endless Frontier. **United States Government Printing Office**, Washington; jul. 1945. Disponível em: <https://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>. Acesso em: 16/06/2021.

CARRAZ, René; HARAYAMA, Yuko. Japan's Innovation Systems at the Crossroads: Society 5.0. **Panorama: Insights into Asian and European Affairs**, Hong Kong; p. 33-45, jan. 2019. Disponível em: [https://researchmap.jp/g0000218027/published\\_papers/20013396/](https://researchmap.jp/g0000218027/published_papers/20013396/). Acesso em: 14/06/2022.

CHAMINADE, C.; JOSEPH, K. J., LUNDEVALL, B. A.; Vang, J. Bridging Innovation System Research and Development Studies: challenges and research opportunities. **Centre for Innovation Research**, Lund, n. 33; 2013. Disponível em: <https://swopec.hhs.se/lucirc/2013.htm>. Acesso em: 24/06/2022.

CLARK, Kim B.; HENDERSON, Rebecca M. Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. **Administrative Science Quarterly**, Ithaca, v. 35, n. 1; p. 9-30, mar. 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2393549>. Acesso em: 24/06/2022.

DEFENSE ADVANCED RESEARCH PROJECT AGENCY. [Site institucional]. Disponível em: <https://www.darpa.mil/>. Acesso em: 21/07/2022.

EDLER, J.; FAGERBERG, J. Innovation policy: what, why, and how. **Oxford Review of Economic Policy**, Oxford, v. 33, n. 1; p. 2-23, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oxrep/grx001>. Acesso em: 17/04/2022.

EDQUIST, Charles. Systems of Innovation: Perspectives and Challenges. **The Oxford Handbook of Innovation**, Oxford; p. 181-208, set. 2009. Disponível em: <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780199286805.001.0001/oxfordhb-9780199286805-e-7?print=&mediaType=Article>. Acesso em: 21/06/2022.

FREEMAN, C. **Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan**. Londres; Nova York: Pinter Publishers, 1987.

KLINE, S.J.; ROSENBERG, N. An Overview of Innovation. *In*: LANDAU, R. ROSENBERG, N. (org.). **The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth**. Washington: National Academy Press, 1986. p. 275-304.

LUNDEVALL, B. A. National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning. *In*: \_\_\_\_\_. (org.). **The Learning Economy and The Economics of Hope**. Londres: Anthem Press, 2010. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1gxp7cs>. Acesso em: 27/05/2022.

MOWERY, David C. Military R&D and Innovation. **Handbook of the Economics of Innovation**, v. 2, p. 1219-1256, 2010. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02013-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02013-7). Acesso em: 21/07/2022.

MOWERY, David C. The U.S. National Innovation System: Recent Developments in Structure and Knowledge Flows. **Unpublished Paper Presented at the OECD Informal Workshop on National Innovation Systems**, oct. 1996. Disponível em: <https://www.oecd.org/science/inno/2380128.pdf>. Acesso em: 29/05/2022.

NELSON, R. R. **As fontes do crescimento econômico**. Clássicos da Inovação. Campinas: Ed. UNICAMP, 2006. Capítulo 10. p. 427-468.

NEUMANN, John *et al.* Department of Energy: New Process to Review Financial Assistance for Research Projects Created Uncertainty. **Government Accountability Office Washington DC**, Washington, fev. 2018. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1171557>. Acesso em: 21/07/2022.

RESEARCH and Development Expenditure (% of GDP). In: **UNESCO Institute for Statistics**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>. Acesso em: 31/05/2022.

ROSENBERG, N. **Por Dentro da Caixa Preta**. Coleção Clássicos da Inovação. Campinas: Ed. UNICAMP, 2006. Capítulo 3. p. 95-130.

SCHUMPETER, J.A. (1912). **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico**. Coleção Os Economistas. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

SCHUMPETER, J.A. **The Influence of Protective Tarrifs on the Industrial Development of the United States**. Proceedings of the Academy of Political Science. Nova York: The Academy of Political Science, v. 19, n. 1, p. 2-7, mai. 1940. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1172508>. Acesso em: 9 jul. 2021.

SCHUMPETER, J.A. (1942) **Capitalism, Socialism and Democracy**. Nova York: Taylor & Francis, 2003. Disponível em:

[https://www.academia.edu/36781425/Capitalism\\_Socialism\\_and\\_Democracy](https://www.academia.edu/36781425/Capitalism_Socialism_and_Democracy).  
Acesso em: 9 jul. 2021.

SONG, H. China's National Innovation System. *In*: CARAYANNIS, E.G. (org.) **Encyclopedia of Creativity, Invention, Innovation and Entrepreneurship**. Nova York: Springer, 2013. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3858-8\\_497](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3858-8_497). Acesso em: 12/06/2022.

U.S. DEPARTMENT OF STATE. Science, Technology, and Innovation. Disponível em: <https://www.state.gov/policy-issues/science-technology-and-innovation/>. Acesso em: 05/06/2022.

VERTOVA, Giovanna. The State and National Systems of Innovation: A Sympathetic Critique. **Levy Economics Institute**. Nova York, n. 823; dez. 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2542243>. Acesso em: 15/05/2022.