

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO  
Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho

João Alberto Ferry Bajur Alves

**DEMIURGO ATÔMICO:  
O Governo dos EUA e a Indústria Nuclear entre 1939 e 1954**

Belo Horizonte  
2023

João Alberto Ferry Bajur Alves

**DEMIURGO ATÔMICO:**

**O Governo dos EUA e o Desenvolvimento da Indústria Nuclear entre 1939 e 1954**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na modalidade de monografia ao Curso de Graduação em Administração Pública da Escola de Governo Professor Paulo Neves de Carvalho da Fundação João Pinheiro, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Administração Pública.

Orientador: Raimundo de Sousa Leal Filho

Belo Horizonte

2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

Alves, João Alberto Ferry Bajur.  
474d A Demiurgo atômico : o Governo dos EUA e a Indústria  
Nuclear entre 1939 e 1954 / João Alberto Ferry Bajur Alves. – Belo  
Horizonte, 2023.  
[12], 134 f. : il.

Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em  
Administração Pública) - Escola de Governo Professor Paulo Neves  
de Carvalho, Fundação João Pinheiro, 2023.

Orientador: Raimundo de Sousa Leal Filho

Bibliografia: f. 129-134

1. Indústria nuclear - inovação - Estados Unidos. 2.  
Indústria nuclear - desenvolvimento - Estados Unidos. I. Leal Filho,  
Raimundo de Sousa. II. Título.

CDU 621.039

(73)

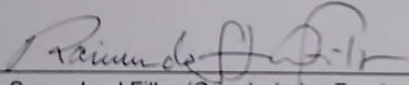
## FOLHA DE APROVAÇÃO

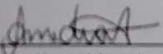
João Alberto Ferry Bajur Alves

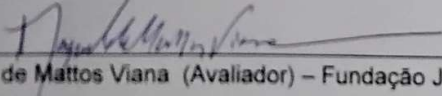
Demiurgo Atômico: O Governo dos EUA e a Indústria Nuclear entre 1939 e  
1954

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação  
em Administração Pública da Escola de  
Governo Professor Paulo Neves de  
Carvalho, da Fundação João Pinheiro,  
como requisito parcial para a obtenção  
do título de bacharel em Administração  
Pública.

**Aprovada na Banca Examinadora**

  
Prof. Raimundo de Sousa Leal Filho (Orientador) – Fundação João Pinheiro

  
Prof. Marcela Emediato Mendes de Oliveira (Avaliador) – Fundação João  
Pinheiro

  
Prof. Raquel de Mattos Viana (Avaliador) – Fundação João Pinheiro

Belo Horizonte, 05 de dezembro de 2023

## DEDICATÓRIA

Neste momento especial em minha jornada acadêmica, quero expressar toda minha gratidão e carinho à minha falecida avó. Sua presença amorosa em minha vida foi uma fonte inestimável de inspiração e apoio.

Ao longo dos anos, você sempre me incentivou a perseguir meus sonhos e a nunca desistir, mesmo diante dos desafios mais difíceis. Seu amor incondicional foi um farol que me guiou em meio às incertezas e me encheu de confiança para enfrentar os obstáculos do caminho.

Seu exemplo de dedicação, resiliência e bondade foram uma bússola moral para mim. Suas histórias e ensinamentos se entrelaçam com os valores que trago em meu coração.

Portanto, dedico este TCC a você, minha avó querida. Seu legado de amor e sabedoria permeia cada página deste trabalho, e espero que ele seja uma homenagem modesta à grandeza da mulher que você foi.

## **AGRADECIMENTOS**

Que fiquem registrados meus agradecimentos a todos aqueles que:

- Contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho;
- Participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado;
- Conviveram comigo ao longo desses anos de curso, que me incentivaram e que tiveram impacto na minha formação acadêmica;
- Que já partiram, mas que enquanto estavam aqui, me deram mais do que eu pude retribuir e tiveram mais paciência do que eu mereci.

## EPÍGRAFE

*"The past exists all around us", said the younger brother calmly. "The only question is whether we chose to dig it up or not."*

- Jeff Grubb, *Brother's War*

## RESUMO

Este estudo realiza um estudo de caso do desenvolvimento da indústria nuclear dos EUA entre 1939 e 1954 tendo em vista estabelecer a importância da participação do governo estadunidense no processo de inovação e desenvolvimento no setor nuclear. A construção do marco teórico estabelece um diálogo entre a perspectiva liberal sobre a participação do governo na inovação, como Mises (2005), Friedman (2002) e Kealey (1996) com autores que defendem a utilização de políticas industriais e a participação governamental no processo de inovação, como Mariana Mazzucato (2013), Karl Polanyi (2000) Ha-Joon Chang (2002; 2004) e Peter Evans (1995). Tais autores argumentam que as companhias privadas apresentam limitações que podem ser dirimidas ou diminuídas pela ação estatal. A trajetória histórica da indústria nuclear nos EUA discute os seguintes tópicos: mudanças no sistema nacional de inovação dos EUA; alguns aspectos importantes da Física Nuclear; o estado da indústria nuclear nos anos 1930; o Projeto Manhattan, a criação do *Atomic Energy Act* de 1946; o papel da AEC e dos militares na indústria nuclear no pós-guerra; e a criação do *Atomic Energy Act* de 1954. O estudo aponta para a importância do governo estadunidense para o desenvolvimento e inovação no setor nuclear por meio de investimentos massivos no setor, incentivos e proteção à iniciativa privada.

**Palavras-chave:** Indústria Nuclear, EUA, governo, inovação.

## **ABSTRACT**

This study conducts a case study of the development of the U.S. nuclear industry between 1939 and 1954 with the aim of establishing the importance of the U.S. government's involvement in the innovation and development process in the nuclear sector. The theoretical framework establishes a dialogue between the liberal perspective on government involvement in innovation, as articulated by Mises (2005), Friedman (2002), and Kealey (1996), and authors advocating for industrial policies and government participation in the innovation process, such as Mariana Mazzucato (2013), Karl Polanyi (2000), Ha-Joon Chang (2002; 2004), and Peter Evans (1995). These authors argue that private companies have limitations that can be mitigated or reduced through state action. The historical trajectory of the nuclear industry in the U.S. discusses the following topics: changes in the U.S. national innovation system, some important aspects of nuclear physics, the state of the nuclear industry in the 1930s, the Manhattan Project, the creation of the Atomic Energy Act of 1946, the role of the AEC and the military in the post-war nuclear industry, and the creation of the Atomic Energy Act of 1954. The study emphasizes the importance of the U.S. government in the development and innovation of the nuclear sector through massive investments, incentives, and protection of private initiatives.

**Keywords:** Nuclear Industry, USA, Government, Innovation.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Gastos Mensais do Manhattan Engineer District 1942-1946 (US\$x1000, valores da época).....	78
Tabela 2: Custos totais do Manhattan Engineer Works até 31 de dezembro de 1945 .....	82
Tabela 3: Gastos com o Programa de Energia nuclear entre 1947 e 1952 (US\$x1000, valores correntes).....	89
Tabela 4: Principais Organizações contratadas pela AEC para Produção e P&D ....	91
Tabela 5: Gastos com P&D e Operação de Instalações Nucleares (1953-1954) – milhões de US\$, valores da época e valores atualizados .....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das Instalações do Projeto Manhattan .....	76
Figura 2: Custos mensais do Manhattan Engineer District 1942-1946.....	79
Figura 3: Gastos e durações de grandes projetos nos EUA (1902- 2021).....	83

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AEC – Atomic Energy Commission  
AMA – American Medical Association  
ASP – Army Supply Program  
CE – Army Corps of Engineers  
HOLC - Home Owners Loan Corporation  
IAEA – International Atomic Energy Agency  
IPP - Industrial Participation Program  
IRS - Industrial Reactor Studies  
MED – Manhattan Engineer District  
NACA – National Advisory Committee for Aeronautics  
NAS – National Academy of Sciences  
NDRC – National Defense Research Council  
NRA - National Recovery Administration  
NSF - National Science Foundation  
OID - Office of Industrial Development  
OSRD – Office of Strategic Research Development  
PWA - Public Works Administration  
PWR – Pressurizes-Water Reactor  
SCC – Standard Chemical Company  
TVA - Tennessee Valley Authority  
USNRC – United States Nuclear Regulatory Commission  
WPB – War Production Board

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	13
2	Metodologia .....	16
3	Marco Teórico.....	19
3.1	Teoria Econômica Liberal.....	19
3.2	Os Teóricos Intervencionistas .....	24
3.2.1	Chutando a Escada.....	24
3.2.2	A Economia como Parte de Algo Maior.....	27
3.2.3	O Estado Empreendedor.....	29
3.2.4	Autonomia Integrada .....	33
3.2.5	A Importância da Inovação.....	35
3.2.6	Sistemas de Inovação Nacional .....	40
3.3	Militares, Relações Internacionais e o Indústria Bélica.....	42
4	Trajectoria da Indústria Nuclear dos EUA .....	47
4.1	Século XIX-1939: Desenvolvimentos na Física Nuclear.....	47
4.2	Século XIX-1939: O Tradicional Sistema de Inovação .....	54
4.3	1939-1941: Transição do Sistema Público de Inovação.....	64
4.4	1942-1945: O Novo Sistema Público de Inovação .....	72
4.5	1946-1954: Consolidação do Novo Sistema Público de Inovação .....	84
4.5.1	Avanços Militares: Bombas de Hidrogênio e Reatores para Navios .....	92
4.5.2	Avanços Cívicos: Mudanças Legislativas e Desenvolvimento Privado .....	95
5	Análise da Trajetória da Indústria Nuclear nos EUA (1939-1954) .....	100
6	Conclusão .....	108
7	Anexos .....	113
7.1	Anexo I – Fissão Nuclear .....	113
7.2	Anexo II – Carta de Einstein ao Presidente Roosevelt .....	118

7.3	Anexo II – Reatores e Data de Inauguração .....	122
8	Bibliografia.....	129

## 1 INTRODUÇÃO

Há um debate acirrado sobre o papel do Estado no desenvolvimento e inovação. Autores liberais, como Milton Friedman (1993; 2002) e Terence Kealey (1996) argumentam que a inovação é melhor promovida pelo setor privado. Eles afirmam que a melhor política de um Estado que quer promover a inovação é deixar o livre mercado operar, corrigindo eventuais falhas de mercado com uma governança e um ambiente regulatório adequado. O poder público, na óptica liberal, não é capaz de atuar com a dinamicidade adequada no mercado, de forma que sua intervenção é ineficiente e onerosa na grande maioria dos casos. Tradicionalmente, tais autores só admitem a intervenção estatal em situações bastante pontuais.

No entanto, existem estudiosos como Mariana Mazzucato (2006; 2013), Peter Evans (1995), Ha-Joon Chang (2004) e Christopher Nelson (1959; 1993) que defendem um Estado mais atuante e intervencionista em apoio à iniciativa privada. Para esta segunda vertente, o setor privado às vezes se vê paralisado diante dos altos custos com pesquisa básica e das incertezas de investir em tecnologias potencialmente revolucionárias, mas que podem falhar miseravelmente ou produzir retornos somente a longo prazo. Tais autores partem do pressuposto de que há uma relação de coevolução da economia com os mecanismos de inovação: em uma economia pré-industrial, por exemplo, a maioria das inovações é introduzida por inventores que frequentemente possuem pouco ou nenhum conhecimento formal; tal sistema é totalmente diferente dos laboratórios industriais e universidades que surgiram em nas economias industrializadas a partir do século XIX. A relação entre Estado e mercado é moldada de acordo com as distintas fases do desenvolvimento capitalista (fases estas definidas por avanços tecnológicos e organizacionais). Além disso, o setor privado opera em simbiose com o governo na conformação dos mercados e dos sistemas nacionais de inovação<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Albuquerque (1996) define o sistema nacional de inovação como “uma construção institucional, produto de uma ação planejada e consciente ou de um somatório de decisões não-planejadas e desarticuladas, que impulsiona o progresso tecnológico em economias capitalistas complexas”.

O debate sobre a forma mais efetiva de promover a inovação é de grande importância, pois está em jogo o futuro de um país, uma vez que a inovação é central para se manter competitivo internacionalmente. Além disso, o aumento de produção de riquezas advindo da inovação gera prosperidade e estabilidade interna. Infelizmente, a discussão sobre inovação é bastante afetada por preconceitos e paixões políticas.

Tal discussão teórica exerce uma importante influência prática na formulação e implementação de políticas públicas. No Brasil, por exemplo, é comum a opinião de que o Estado é grande, atrasado e ineficiente; ao mesmo tempo, o livre mercado é tido como a solução mais eficiente para alavancar a inovação. É preciso questionar essa lógica maniqueísta que coloca o setor privado de um lado e o Estado de outro: a trajetória de vários países mostra que estabelecer uma relação de complementaridade entre a iniciativa privada e o setor público é o melhor caminho para o desenvolvimento. A falsa dicotomia entre setor privado e setor público é uma das questões que serão debatidas e desmistificadas ao longo deste trabalho.

Tendo em vista explorar a importância do Estado e das políticas públicas na inovação, este trabalho se propôs a realizar um estudo de caso sobre a indústria nuclear nos EUA entre 1939 e 1954. A intenção foi elucidar a participação do governo estadunidense no desenvolvimento e inovação da área de energia nuclear. Por meio deste estudo, busca-se esclarecer qual a importância o Estado pode ter para a inovação.

O desenvolvimento da energia nuclear é particularmente importante para contrapor os argumentos das duas vertentes apresentadas. É conhecimento comum que a mobilização industrial e tecnológica nos EUA durante a Segunda Guerra Mundial teve um papel importante na história da energia nuclear, mas é necessário esclarecer alguns pontos críticos antes de proceder a uma análise do caso: é preciso saber quais empreendimentos atraíram o setor privado para a extração e utilização de materiais radioativos *antes* da mobilização durante Segunda Guerra Mundial; identificar as perspectivas que as companhias possuíam para o futuro da indústria nuclear; e, principalmente, investigar quais foram os instrumentos e políticas utilizados para promover a indústria nuclear nos EUA.

A esperança deste autor é que este trabalho, mesmo não abordando o Brasil diretamente, seja útil para dar um novo direcionamento ao debate que ocorrem cotidianamente nos jornais e na academia.

Este trabalho está dividido em cinco seções. A primeira seção aborda os aspectos metodológicos que pautaram o desenvolvimento da pesquisa. Nesta seção foram expostos os objetivos (geral e específico), o método utilizado e alguns apontamentos sobre as fontes utilizadas.

A segunda seção traz um marco teórico. Nela foram desenvolvidos os argumentos teóricos que serão aplicados na análise do estudo de caso. Nesta seção são expostos argumentos liberais de autores clássicos sobre a deseabilidade da intervenção do governo na economia e, especificamente, o posicionamento de um autor liberal sobre a inovação e P&D. Em seguida, são explorados autores que questionam a visão liberal e defendem um papel maior do governo na economia e no processo de inovação.

A terceira seção contém um estudo sobre a trajetória do desenvolvimento do setor nuclear nos EUA, de 1939 a 1954. Esta seção está subdividida em cinco seções. A primeira lida com os avanços na área da Física que permitiram o surgimento da indústria nuclear. A segunda subseção expõe o sistema de inovação nos EUA e a participação do governo estadunidense no processo de inovação até o início da Segunda Guerra Mundial. A terceira subseção discute as políticas e instituições criadas para o avanço da indústria nuclear entre a eclosão da Segunda Guerra Mundial, em 1939, e a entrada oficial dos EUA no conflito, em 1941. A quarta subseção explora o importante período da Segunda Guerra Mundial para a indústria nuclear, particularmente o Projeto Manhattan. Já a última subseção explora as políticas e instituições adotadas na área nuclear entre 1946 e 1954.

A quarta seção analisa a trajetória do desenvolvimento do setor nuclear dos EUA sob a luz do marco teórico. O foco desta seção é discutir as previsões e prescrições teóricas e as políticas e instituições historicamente criadas para atuar na área nuclear.

Finalmente, a última seção discute os resultados obtidos pela pesquisa, apontando questões e direcionamentos para pesquisas posteriores.

## 2 METODOLOGIA

Este trabalho partiu da seguinte pergunta: qual foi a importância do governo dos EUA para o desenvolvimento e inovação da indústria de energia nuclear estadunidense entre 1939 e 1954? O “desenvolvimento” compreende a construção da infraestrutura e a integração da tecnologia nuclear com o restante da economia; “indústria de energia nuclear” engloba o conjunto das usinas, centros de pesquisa e instalações de produção de material destinado a processos de fissão nuclear para fins civis e/ou militares; já “inovação” diz respeito a investimentos em P&D e introdução de novas técnicas e processos.

O objetivo geral é analisar a contribuição do governo estadunidense para o desenvolvimento e inovação da indústria nuclear, entre 1939 e 1954.

A partir deste objetivo principal foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Realizar uma revisão bibliográfica sobre políticas públicas de inovação e desenvolvimento e construir um marco teórico;
- b) Realizar um estudo histórico da trajetória da indústria nuclear nos EUA entre 1939 e 1954;
- c) Analisar a trajetória da indústria nuclear nos EUA com base no marco teórico constituído, avaliando a importância do governo estadunidense para o desenvolvimento e inovação da indústria de energia nuclear nos EUA.

Segundo Lakatos (2003), há quatro métodos de abordagem para uma pesquisa científica: o método indutivo, o método dedutivo, o método hipotético-dedutivo e o método dialético. Eles são descritos da seguinte forma:

a) método indutivo – cuja aproximação dos fenômenos caminha geralmente para planos cada vez mais abrangentes, indo das constatações mais particulares às leis e teorias (conexão ascendente);

b) método dedutivo – que, partindo das teorias e leis, na maioria das vezes prediz a ocorrência dos fenômenos particulares (conexão descendente);

c) método hipotético-dedutivo – que se inicia pela percepção de uma lacuna nos conhecimentos, acerca da qual formula hipóteses e, pelo processo de inferência dedutiva, testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos pela hipótese;

d) método dialético – que penetra o mundo dos fenômenos através de sua ação recíproca, da contradição inerente ao fenômeno e da

mudança dialética que ocorre na natureza e na sociedade. (LAKATOS, 2003, p. 106)

O trabalho utilizou o método dedutivo, analisando o desenvolvimento da indústria nuclear dos EUA a partir das discussões teóricas sobre o papel do Estado na inovação. O marco teórico foi elaborado a partir da revisão bibliográfica de autores liberais, como Terence Kealey (1996) e Milton Friedman (1993; 2002), e seu contraste com autores que defendem um Estado mais intervencionista, como Evans (1995), Chang (2002), Nelson (1993), Polanyi (2000) e Mariana Mazzucato (2006; 2013). O cerne do argumento é que o Estado é essencial para a inovação porque ele assume os enormes custos da pesquisa básica e os potenciais prejuízos de empreendimentos de alto risco em apoio à iniciativa privada. Já o setor privado geralmente enfrenta problemas em assumir tais riscos por conta própria, preferindo desenvolver produtos com base na pesquisa básica já financiada pelo governo ou investir em atividades já estabelecidas e com retorno mais seguro.

A hipótese inicial é que o governo estadunidense teria sido central para o desenvolvimento da indústria nuclear, dando um grande impulso para o setor. Ele teria assumido riscos, incentivado e protegido o setor privado nos momentos mais críticos. O setor privado, por sua vez, teria um posicionamento inicialmente conservador em relação à inovação trazida pela energia nuclear, pois tratava-se de uma área que necessitava de investimentos altos, apresentava elevados riscos e retornos potenciais somente a longo prazo.

Em relação ao método de procedimento, ou seja, o método que foi usado na investigação concreta (LAKATOS, 2003), foi utilizado o método Monográfico:

Partindo do princípio de que qualquer caso que se estude em profundidade pode ser considerado representativo de muitos outros ou até de todos os casos semelhantes, o método monográfico consiste no estudo de determinados indivíduos, profissões, condições, instituições, grupos ou comunidades, com a finalidade de obter generalizações. A investigação deve examinar o tema escolhido, observando todos os fatores que o influenciaram e analisando-o em todos os seus aspectos. (LAKATOS, 2003, p. 108)

Com base no método monográfico, foi realizado um estudo de caso do papel do governo estadunidense no desenvolvimento da indústria nuclear entre 1939 e 1954. Trata-se de um período com imensas inovações na área nuclear, iniciando-se com o estabelecimento de um programa nuclear que culminou nas

bombas de *Hiroshima* e de *Nagasaki*, em 1945. Em 1954 ocorreu uma revisão do marco legal da energia nuclear (*Atomic Energy Act*, 1946), introduzindo mudanças significativas na regulação do setor nuclear.

O estudo histórico reuniu informações com base em dois focos principais: (1) as políticas do governo dos EUA e das organizações criadas por este que atuaram na área nuclear; e (2) estatísticas sobre investimentos e gastos, tendo em vista quantificar o peso da contribuição do governo dos EUA para o estabelecimento da indústria nuclear.

Sobre as estatísticas de gastos e investimentos, é preciso se atentar ao fato de que houve mudanças nas técnicas de contabilidade ao longo do tempo. Além disso, alguns gastos são de difícil contabilização (SCHWARTZ, 1998). O cálculo dos valores, portanto, deve ser considerado apenas como uma aproximação. Apesar disso, os dados certamente dão uma boa noção da *ordem de grandeza* dos recursos gastos, o que é suficiente para os propósitos desta pesquisa.

Em relação às fontes primárias, foram utilizados documentos como a carta de Einstein (REED, 2019) ao presidente Roosevelt, datada de 1939; o *Atomic Energy Act* de 1946 (HEWLETT & ANDERSON, 1962); e o *Atomic Energy Act*, de 1954 (USRNC, 1954). A carta de Einstein, por exemplo, é relevante por ter alertado o presidente dos EUA, Franklin Delano Roosevelt, sobre os potenciais e perigos do desenvolvimento da energia nuclear. A carta serviu como um poderoso incentivo para o início do Projeto Manhattan. Já as duas legislações são importantes por fornecerem o marco legal para as atividades nucleares nos EUA.

Já em relação às fontes secundárias, alguns autores assumiram importância mais central no estudo de caso, como Rhodes (2012), Balogh (1991), Reed (2015; 2019), Mahaffey (2009) e Hewlett et al. (1962; 1972; 1989); no entanto, é preciso ressaltar que documentos são produzidos em um determinado contexto por indivíduos que possuem determinadas crenças e objetivos. Um documento não pode ser neutro (LE GOFF, 1994). Para minimizar as distorções relativas às limitações das fontes, foi realizado o cruzamento de fontes sempre que possível. Tendo em vista deixar o trabalho acessível, as citações diretas de autores estrangeiros foram traduzidas para o português.

### 3 MARCO TEÓRICO

O seguinte marco teórico está separado em três subseções. A primeira subseção trata dos argumentos da teoria econômica liberal acerca da inovação e as reservas destes autores em relação à participação do governo neste processo.

A segunda subseção aborda autores que possuem um pensamento diverso dos liberais. Nesta seção serão discutidos os estudiosos que defendem uma maior intervenção do governo no processo de inovação.

Finalmente, a última subseção discute a importância das relações internacionais e das forças armadas para a inovação.

#### 3.1 Teoria Econômica Liberal

A teoria econômica liberal possui uma longa história e, como bem nos lembra Bobbio (1998), não pode ser facilmente resumida. No entanto, suas raízes, com Adam Smith (1996), o liberalismo econômico se caracterizava pela defesa de um Estado pequeno, pela defesa da propriedade privada, pelo valor máximo da liberdade individual e pela crença em um livre mercado que se adapta de forma ótima às variações de oferta e demanda.

Posteriormente, o pensamento liberal sofreu várias mudanças<sup>2</sup>, mas o foco na máxima liberdade individual e a restrição ao poder do Estado permanecem como pontos centrais. Autores como Ludwig von Mises, frequentemente classificado como “neoliberal”<sup>3</sup>, resumiu o programa liberal nos seguintes termos:

O programa do liberalismo, portanto, se resumido em uma única palavra, teria que ser: propriedade, ou seja, a propriedade privada dos meios de produção (pois em relação às mercadorias prontas para consumo, a propriedade privada é uma questão óbvia e não é contestada nem mesmo pelos socialistas e comunistas). Todas as outras demandas do liberalismo derivam dessa demanda fundamental.

---

<sup>2</sup> Segunda Bobbio (1998), “na lógica universalista do Liberalismo renunciou-se ao dogma da não-intervenção do Estado na vida econômica e social” (p. 703) em favor de um posicionamento contra o assistencialismo, tido como um risco à existência do Liberalismo. No entanto, a leitura dos textos de Mises (2005) e Friedman (2002) não parecem dar suporte a essa afirmação.

<sup>3</sup> O termo “neoliberal” não é utilizado pelos autores assim rotulados. Uma vez que, em suas obras, Mises (2005) e Friedman (1993; 2002) se consideram “liberais”, este último termo foi utilizado no restante do texto.

Lado a lado com a palavra "propriedade" no programa do liberalismo, pode-se colocar de maneira bastante apropriada as palavras 'liberdade' e 'paz'." (MISES, 2005, p. 2, tradução livre)

A corrente liberal defende os seguintes pressupostos fundamentais em relação aos indivíduos: (1) as pessoas possuem preferências pessoais de consumo; e (2) maximizam a utilidade e as empresas maximizam o lucro (WEINTRAUB, 1993). Os indivíduos procuram realizar as suas preferências pessoais de consumo, e isso implica se relacionar numa ampla rede de relações de troca denominada mercado. É interesse de cada indivíduo consumir o máximo possível de bens e serviços (pois isso maximiza o seu bem-estar). Para consumir mais, é necessário produzir mais para trocar no mercado, logo, o egoísmo de todos tende a maximizar o bem-estar geral (SMITH, 1996). A liberdade para produzir e trocar possui importância central, e esta está inerentemente ligada à liberdade dos indivíduos de expressarem suas preferências. Como argumentou um importante autor, "[...] aumentos na liberdade econômica vão de mãos dadas com aumentos nas liberdades políticas e civis e levam a uma maior prosperidade [...]" (FRIEDMAN, 2002, p. ix, tradução livre).

Os liberais não são contra a existência do governo em si, mas acreditam que este deve se limitar a garantir os contratos, a defesa (interna e externa) e intervir na economia em situações bastante pontuais<sup>4</sup>, como na formação de monopólios e nas falhas de mercado, definidas como "não atendimento de uma das premissas do modelo de mercado perfeitamente competitivo, que tem por consequência uma alocação ineficiente de recursos pelo mercado livre" (RESENDE, 2012, p. 69).

Os autores liberais argumentam que a intervenção estatal geralmente leva a males piores do que os que o governo tenta remediar. Na questão específica dos investimentos públicos para incentivar a pesquisa, defende-se que tais gastos públicos apenas afugentam os investimentos privados, uma vez que o governo acaba usando o dinheiro da poupança privada para fazer os investimentos (FRIEDMAN, 2002). No fim das contas, ao tentar aliviar recessões,

---

<sup>4</sup> "[...] o escopo do governo precisa ser limitado. Sua maior função precisa ser proteger nossa liberdade tanto de inimigos fora de nossos portões como de nossos cidadãos [fellow-citizens]: preservar a lei e a ordem, fazer cumprir os contratos privados, incentivar mercados competitivos." (FRIEDMAN, 2002, p. 2, tradução livre).

promover a inovação e acelerar o crescimento, o governo gerará distorções negativas na economia e provavelmente não obterá os resultados que deseja.

Em relação ao processo de inovação tecnológica sob a perspectiva liberal, uma anedota contada por Sir George, presidente da Academia Real<sup>5</sup>,

Em 29 de agosto de 1831, Faraday descobriu a indução eletromagnética [...] no ano seguinte, na França, e um pouco depois disso, na Inglaterra, pequenos dínamos [...] foram fabricados para gerar uma corrente elétrica contínua [...] quando Faraday mostrou o efeito (eletromagnético) para o Chanceler do Tesouro, o Sr. Gladstone perguntou: “mas qual é o uso da sua descoberta?”. Faraday respondeu: “eu não sei, senhor, mas eu garanto que um dia você irá taxá-la” [...] a ciência é um investimento crucial, mas os políticos consistentemente subfinanciam ela por ignorância, visão limitada ou por pura tolice. (KEALEY, 1996, p. 1, tradução livre)

Para reforçar o argumento de que é a iniciativa pessoal dos indivíduos que foi historicamente responsável pela inovação, Kealey (1996) cita Adam Smith e afirma que inventores individuais (não necessariamente com treinamento formal) e os próprios trabalhadores foram responsáveis pela maioria das melhorias nas máquinas até o século XIX. Kealey ainda lembra que Smith, o pai do liberalismo econômico, não acreditava na importância central da academia para a inovação, principalmente se esta se sustenta com “financiamento governamental”<sup>6</sup> (*government funding*) (KEALEY, 1996, p. 10). Trata-se de uma posição contrária à de intelectuais como Francis Bacon, que acreditava na importância da criação de instituições formais de pesquisa, financiadas com verbas públicas, para acelerar o processo de inovação<sup>7</sup>.

Posteriormente, a partir do final do século XIX, houve uma mudança importante no processo de inovação: embora trabalhadores e inventores continuassem produzindo algumas inovações, o processo começou a ser cada vez mais conduzido a partir de centros de pesquisa e universidades. Isso ocorreu por uma simples razão: as máquinas e processos se tornaram demasiadamente complexos para serem dominados por indivíduos sem o adequado treinamento

---

<sup>5</sup> Kealey (1996) lança dúvidas sobre esta anedota: “Inspeção, no entanto, lança uma certa dúvida sobre a história de Sir George”. (p. 1, tradução livre).

<sup>6</sup> “Ele não acreditava que os governos deveriam financiar a ciência porque ele desconfiava muito dos políticos: ‘aquele animal insidioso e ardisoso, vulgarmente chamado de estadista ou político.’” (KEALEY, 1996, p. 10, tradução livre).

<sup>7</sup> “Bacon propôs uma série de iniciativas governamentais. Ele queria que o Estado financiasse a construção de laboratórios universitários [...]” (KEALEY, 1996, p. 5, tradução livre).

técnico e científico. Apesar disso, o argumento central de que a inovação só é favorecida em uma sociedade de livre mercado permaneceu constante: os centros de pesquisa e universidades só obtêm eficiência máxima quando operam na lógica do livre mercado (KEALEY, 1996).

É argumentado que o entrave ao livre funcionamento do mercado fornece uma explicação, por exemplo, para a estagnação no Antigo Egito e na China. Essas civilizações fizeram descobertas assombrosas, mas a sociedade rigidamente estratificada e o centralismo do governo eventualmente paralisaram o ritmo de inovação<sup>8</sup>. Já a civilização ocidental, por exemplo, com maior liberdade para o indivíduo e um governo menos controlador, teria desfrutado de um ambiente mais propício para a inovação (KEALEY, 1996). Esta seria a razão da crescente superioridade tecnológica do continente europeu sobre outras regiões do mundo.

Uma outra condição que teria favorecido a Europa é a existência de múltiplas unidades políticas em constante competição e conflito<sup>9</sup>. A competição entre essas unidades teria favorecido a inovação, pois esta teria sido buscada como uma forma de garantir a superioridade sobre os adversários<sup>10</sup>. Este argumento de Kealey é semelhante ao de Paul Kennedy (1987). Os dois autores argumentam que a posição geográfica de sociedades guardadas por barreiras naturais as protege contra o pleno contato e posterior competição direta com outras sociedades, desincentivando a inovação. Quando a inovação não é

---

<sup>8</sup> “Econômica e intelectualmente, essas civilizações eram igualmente rígidas. Em nenhuma delas o livre mercado era permitido. De fato, eles quase nem eram possíveis; os egípcios, por exemplo, nem mesmo possuíam moedas. Além disso, a troca, era largamente irrelevante, porque essas economias eram centralmente planejadas. Funcionários públicos se apropriavam de toda a produção dos camponeses. Deixando-os apenas com o necessário para comer e plantar, sendo que o excedente era seria distribuído para a corte e templos [o termo utilizado foi “church”, mas uma tradução literal para “Igreja” seria anacrônica] de acordo com a precedência social. A propriedade privada a salvo da corte não existia. Poucos comerciantes eram tolerados sob estrito controle e altas taxas [...] Na falta de livres mercados de qualquer tamanho, as poucas oficinas e minas serviam ao Estado e aos templos [o termo utilizado foi “church”, novamente]. Cidades eram bem pequenas, porque mais de 90% da população trabalhava no campo; além disso, as cidades que existiam eram bem diferentes das que existem no mundo ocidental atual, que são centros de comércio e produção. Elas eram apenas centros administrativos e de consumo.” (KEALEY, 1996, pp. 17-18, tradução livre)

<sup>9</sup> “[...] a guerra criou o capitalismo.” (KEALEY, 1996, p. 39, tradução livre)

<sup>10</sup> Trata-se da aplicação da lógica do livre mercado à competição entre Estados.

estritamente necessária para a sobrevivência da comunidade, ela ainda é uma ameaça potencial às elites estabelecidas e, portanto, é desestimulada.

De qualquer forma, as inovações desenvolvidas em sociedades com baixo grau de liberdade de iniciativa não seriam capazes de gerar frutos para a comunidade como um todo porque tendem a se tornar privilégio das elites. O constrangimento da iniciativa privada impediria que os novos conhecimentos (ciência) fossem convertidos em inovações práticas (tecnologia)<sup>11</sup>, disseminados e integrados no cotidiano da economia:

Tecnologia apoiada pela ciência é, obviamente, o que se traduz em crescimento econômico. Por exemplo, é recomendado que um tecnólogo tentando melhorar as propriedades de uma liga de metal estude metalurgia, para entender melhor os seus materiais. Mas esse tipo de ciência voltada para a tecnologia mal existiu nos tempos helenísticos ou, mais tarde, nos romanos. O declínio do livre mercado removeu qualquer incentivo para financiar ou desenvolver nova tecnologia, o que removeu qualquer incentivo para financiar ou desenvolver a ciência voltada para a tecnologia. A única ciência restante foi desenvolvida por razões de status, religião ou academia [scholarship]. Os astrônomos sumérios, por exemplo, eram sacerdotes cuja religião englobava a astrologia. (KEALEY, 1996, p. 25, tradução livre)

Os argumentos históricos que Kealey utiliza também estão presentes na obra de Milton Friedman (2002), que afirma que a “[...] liberdade política [...] veio acompanhada do livre mercado e do desenvolvimento de instituições capitalistas. O mesmo ocorreu com a liberdade política na idade de ouro da Grécia e no início da Era Romana.” (p. 10, tradução livre).

Apesar da posição mais restritiva de Kealey, há alguns autores liberais, como o próprio Milton Friedman (2002), que admitem certa injeção de recursos estatais na pesquisa básica, alegando que se trata de uma questão de falha de mercado. Mesmo assim, todos os liberais concordam que os atores privados são os protagonistas no processo de inovação e que o Estado deve assumir um papel secundário.

---

<sup>11</sup> “Tecnologia é a atividade que envolve manipular a natureza; ciência é a atividade que envolve aprender sobre a natureza.” (KEALEY, 1996, p. 24, tradução livre).

## 3.2 Os Teóricos Intervencionistas

Apesar de sua contribuição para o pensamento econômico, os argumentos liberais suscitam algumas questões. A noção de “falha de mercado”, por exemplo, é problemática em si, porque a teoria liberal apresenta conceitos tão ideais que “[...] quando julgado segundo esses padrões gerais, o mundo inteiro pode ser encarado como uma enorme falha de mercado” (CIMOLI et al., 2009, p. 58). Como o mundo real se aparta dos padrões e pressupostos ideais estabelecidos pela teoria, as falhas reais de mercado tendem a ser numerosas. Na prática, portanto, pode-se argumentar que são amplas as necessidades de intervenção estatal.

A seguir serão abordados autores que discordam da visão liberal e defendem um papel mais interventor do Estado no desenvolvimento e inovação.

### 3.2.1 Chutando a Escada

Será que os países que hoje defendem a adoção dos preceitos da teoria liberal os adotaram durante sua ascensão? Por que tais instituições são tidas como essenciais para o desenvolvimento atualmente? A diferença entre os ideais liberais e a realidade se impôs na trajetória de desenvolvimento dos países mais ricos. Estas são questões exploradas por Ha-Joon Chang (2002).

O autor argumenta que, atualmente, há uma grande pressão sobre os países em desenvolvimento por parte dos países desenvolvidos “[...] para adotar um conjunto de ‘boas políticas’ e ‘boas instituições’” (CHANG, 2002, p. 1, tradução livre) para gerar crescimento econômico. As boas políticas incluem a política macroeconômica restritiva, liberalização do comércio internacional, privatização e relaxamento da regulamentação<sup>12</sup>. Já as boas instituições incluem a democracia, a boa burocracia (impessoal e liberal), um judiciário independente (e pró-mercado), proteção aos direitos de propriedade, boa governança (limitação de determinados comportamentos dos atores) e instituições financeiras orientadas para o livre mercado (CHANG, 2002).

---

<sup>12</sup> Este ponto não é unanimidade entre todos os liberais. Trata-se, antes, de um posicionamento de uma determinada vertente que é citada no trabalho de Chang (2002), vertente esta que contempla com os teóricos liberais explorados neste capítulo.

As políticas e instituições citadas, no entanto, não estavam presentes quando os países ricos se desenvolveram:

[...] os países desenvolvidos não chegaram onde estão hoje por meio de políticas e instituições que eles recomendam para os países em desenvolvimento hoje. A maioria dos países desenvolvidos usaram “más” políticas comerciais e industriais, como proteção para indústrias nascentes e subsídios para exportação – práticas que, hoje em dia, são mal vistas, quando não ativamente banidas pela OMC (Organização Mundial do Comércio). Até estarem bem desenvolvidos [...] eles tiveram muito poucas das instituições consideradas essenciais para os países em desenvolvimento atualmente, incluindo instituições “básicas” como bancos centrais e companhias de responsabilidade limitada. (CHANG, 2002, pp. 1-2, tradução livre)

As histórias de desenvolvimento das maiores potências econômicas atualmente estão marcadas pela mão do Estado. Além disso, o atual sistema de inovação, marcado pelos laboratórios industriais, centros de pesquisa e universidades foi erguido com o auxílio do Estado (NELSON, 1993).

Um exemplo disso é o caso da Alemanha. Um país originalmente pequeno, pobre demográfica e financeiramente, sem recursos naturais notáveis e mesmo sem contiguidade territorial, a Prússia<sup>13</sup> não possuía uma posição invejável. No entanto, políticas de atração de mão de obra especializada, o incentivo e proteção à agricultura e a criação de um poderoso exército a transformaram em uma das cinco grandes potências europeias no século XIX<sup>14</sup>. Durante todo esse período, os Hohenzollern (sobrenome da família real prussiana) interviram pesadamente na economia (CLARK, 2006). Ironicamente, no início do século XIX, quando a Prússia se abriu para tentar importar maquinário da Inglaterra e atrair trabalhadores especializados da Bélgica, sua ação foi barrada por ações protecionistas dos dois países citados (NELSON, 1993). A partir do final do século XIX, quando o *locus* da inovação se deslocou para universidades e centros de pesquisa, estes foram estabelecidos e/ou apoiados pelo próprio governo alemão:

O governo central e os estados federativos financiavam de 40 a 50 institutos de pesquisa no início do século XX [...] precedentes estadunidenses como a Fundação Rockefeller fomentaram na

---

<sup>13</sup> A Alemanha só se unificou em 1871. A Prússia foi o país que conduziu tal unificação (CLARK, 2006).

<sup>14</sup> As cinco grandes potências eram: Inglaterra, França, Prússia, Áustria e Rússia (KENNEDY, 1987).

Alemanha a ideia de utilizar a indústria como uma fonte de fundos para pesquisa. (NELSON, 1993, p. 124, tradução livre)

Logo, a trajetória alemã problematiza a narrativa liberal em dois pontos: (1) a Alemanha utilizou políticas protecionistas para se tornar uma grande potência econômica; e (2) países considerados “liberais”, como a Inglaterra, adotaram políticas restritivas ao livre comércio quando se viram ameaçadas pela concorrência.

Mesmo que fossem consideradas apenas as práticas atuais, o discurso dos países desenvolvidos atualmente não é seguido ao pé da letra nem por eles mesmos: as nações mais ricas frequentemente ignoram os ideais que dizem defender quando estão em jogo pautas que têm o potencial de causar impactos negativos em suas economias. Até Milton Friedman (1993), um dos maiores expoentes do discurso liberal, admitiu que “nós dizemos para eles privatizarem, privatizarem e privatizarem enquanto nós socializamos, socializamos e socializamos” (p. 7).

Segundo Chang (2002), os países ricos adotam a posição aparentemente paradoxal de defender uma coisa e fazer outra totalmente diferente por uma razão simples: as instituições e políticas defendidas tendem a atrapalhar o processo de desenvolvimento dos países mais pobres. Isso garante a posição mais vantajosa dos mais favorecidos. Eles sobem a escada e depois a chutam<sup>15</sup>, impedindo os outros de seguirem o mesmo caminho.

As políticas liberais defendidas pelos países desenvolvidos teriam diminuído a taxa média de crescimento e aumentado a desigualdade nos países em desenvolvimento (CHANG & GRABEL, 2004). Até a alardeada diminuição da pobreza nas últimas décadas – e incorretamente atribuída a políticas liberais – ocorreu devido a “forte performance da China e da Índia, dois países que seguem políticas não liberais” (CHANG & GRABEL, 2004, p. 22, tradução livre).

Na opinião de Chang, portanto, dar o protagonismo à iniciativa do setor privado e do livre mercado para promover o crescimento econômico é um posicionamento problemático. Boas políticas públicas e um governo forte teriam

---

<sup>15</sup> *Kicking away the Ladder* (chutando a escada) é justamente o nome de um livro de Ha-Joon Chang.

importância crucial para o desenvolvimento e inovação. Seguindo por este caminho, devemos nos perguntar: como deve atuar o governo? Começemos com uma análise da relação entre economia e sociedade.

### 3.2.2 A Economia como Parte de Algo Maior

A economia é uma parte importante da vida em sociedade, mas ela está incrustada em um tecido social mais amplo<sup>16</sup>. Em seu livro, “A Grande Transformação”, Karl Polanyi (2000) afirma que

Nada pareceria mais inepto do que tentar reduzir uma civilização, sua substância e ethos, a um número rígido de instituições, selecionar uma delas como fundamental e passar a argumentar sobre a inevitável auto destruição da civilização em consequência (*sic*) de alguma qualidade técnica de sua organização econômica. As civilizações, como a própria vida, resultam da interação de um grande número de fatores independentes, os quais, como regra, não se reduzem a instituições circunscritas. (POLANYI, 2000, p. 18)

Na obra em questão também são postos em dúvida alguns dos pressupostos centrais da teoria liberal. Um desses pressupostos diz que o mercado é “autorregulável”, ou seja, ele se ajusta automaticamente de forma ótima às flutuações da economia de uma sociedade. Isso implica dizer que os preços e, portanto, a oferta e a demanda se ajustam de forma eficiente às flutuações materiais sem a necessidade de intervenção do governo. No entanto,

[...] a idéia de um mercado auto-regulável [*sic*] implicava uma rematada utopia. Uma tal instituição não poderia existir em qualquer tempo sem aniquilar a substância humana e natural da sociedade; ela teria destruído fisicamente o homem e transformado seu ambiente num deserto. Inevitavelmente, a sociedade teria que tomar medidas para se proteger, mas, quaisquer que tenham sido essas medidas elas prejudicariam a auto-regulação (*sic*) do mercado, desorganizariam a vida industrial e, assim, ameaçariam a sociedade em mais de uma maneira. Foi esse dilema que forçou o desenvolvimento do sistema de mercado numa trilha definida e, finalmente, rompeu a organização social que nela se baseava. (POLANYI, 2000, p. 18)

Esta é uma questão importante. O mercado, embora frequentemente seja visto como uma instituição soberana, está incrustado na organização social mais ampla. Desta forma, deixar todos os aspectos econômicos à mercê do mercado

---

<sup>16</sup> Schumpeter (1997) também reconheceu este fato. Ele afirmou que “Um fato nunca é puramente ou exclusivamente econômico; sempre existem outros aspectos em geral mais importantes.” (p. 23)

introduz distorções, instabilidades e mesmo grandes crises no tecido social. Em última instância, se o mercado não for controlado de alguma forma, ele entrará em um colapso induzido pelos seus próprios mecanismos (POLANYI, 2000). A economia, portanto, é sujeita a interesses sociais maiores, pois

A descoberta mais importante nas recentes pesquisas históricas e antropológicas é que a economia do homem, como regra, está submersa em suas relações sociais [...]. É natural que esses interesses sejam muito diferentes numa pequena comunidade de caçadores ou pescadores e numa ampla sociedade despótica, mas tanto numa como noutra o sistema econômico será dirigido por motivações não-econômicas. (POLANYI, 2000, p. 65)

Portanto, a intervenção das autoridades públicas para garantir determinados objetivos, mesmo em conflito com os interesses do mercado, são uma constante necessária na história da humanidade. A dimensão política impõe interesses maiores do que o simples cálculo de custo-benefício financeiro defendido por teóricos do livre mercado, embora este sempre entre na equação.

E quais seriam os objetivos que o Estado busca garantir? O interesse primeiro de qualquer país é garantir a sua sobrevivência como unidade política. Para isso, é preciso garantir duas condições: (1) garantia da defesa contra agressões externas (assunto que será retomado mais tarde); e (2) estabilidade e ordem social interna. Esses dois objetivos envolvem necessariamente políticas econômicas, mas políticas voltadas para garantir tais objetivos, sejam elas ótimas ou não na perspectiva do livre mercado (embora elas também não devam ser estabelecidas à revelia total do mercado, obviamente).

A garantia da defesa envolve compras e investimento em pesquisas que podem não ser imediatamente frutíferos para a maior parte do mercado, embora frequentemente o sejam. Também há a necessidade de pensar nas consequências das relações comerciais para a defesa da soberania nacional. Exemplificando os conflitos que podem surgir entre a economia e os anseios políticos por segurança externa, Polanyi (2000) escreveu sobre as políticas do Império Austro-Húngaro e da França no período anterior à Primeira Guerra Mundial:

Os círculos financeiros de Paris pediram a admissão dos títulos húngaros, mas os círculos industriais apoiaram o governo na sua sólida oposição a qualquer concessão a um possível antagonista militar. A rivalidade político-diplomática continuava inquebrantável. Qualquer

atuação que pudesse aumentar o presumível potencial inimigo era vetada pelos governos (POLANYI, 2000, p. 27)

Já a promoção da estabilidade interna envolve garantir emprego, renda e ordem para a população. Garantir o emprego e a renda pode significar intervir no ritmo das inovações e promovê-las mesmo que não possuam racionalidade econômica imediata<sup>17</sup>; além disso, pode significar manter, temporariamente, indústrias e atores ineficientes do ponto de vista do mercado internacional, desde que tais atores garantam o emprego e o desenvolvimento do país.

O Estado é responsável por garantir a saúde do tecido social. Fazendo isso, ele acaba agindo de duas formas: como limitador do ímpeto do mercado e como empreendedor. O Estado empreendedor procura promover o crescimento econômico visando objetivos políticos e sociais.

### **3.2.3 O Estado Empreendedor**

“O Estado Empreendedor” (2013) é o título de um livro escrito por Mariana Mazzucato. A autora começa seu livro com uma provocação:

Hoje mais do que nunca é necessário questionar o papel do Estado na economia – um assunto polêmico desde o livro do Adam Smith, “Uma Investigação sobre a Natureza e as Causas da Riqueza das Nações” (Smith, 1776). Isso se deve ao fato de que observamos uma retirada massiva do Estado, retirada esta que tem sido justificada em termos de redução de débito e – talvez mais sistematicamente – em termos de tornar a economia mais “dinâmica”, “competitiva” e “inovadora”. O setor empresarial é tido como a força inovadora, enquanto o Estado é taxado de inerte – necessário para o “básico”, mas grande e pesado demais para ser um motor dinâmico. (MAZZUCATO, 2013, p. 14, tradução livre)

De fato, apesar de um certo exagero com a frase “retirada massiva do Estado”, trata-se de uma crítica importantíssima nos dias atuais, particularmente tendo em vista a pressão pela adoção de instituições liberais denunciada por Ha-Joon Chang (2002; 2004). Embora o governo enfrente diversos desafios e obstáculos e frequentemente tenha que fazer escolhas difíceis (que inevitavelmente deixam parte dos contribuintes desapontados), é extremamente

---

<sup>17</sup> Sobre esta questão, mesmo que o Estado não diminua o ritmo das inovações pensando na estabilidade social, o mercado possui uma dinâmica tal que elas só serão introduzidas à medida que trouxerem ganhos imediatos. Schumpeter (1997) afirmou que: “[...] o engenheiro pode recomendar um novo processo que o diretor comercial rejeita com o argumento de que não compensará.” (p. 31)

superficial tratar o governo e o setor privado de forma maniqueísta, atribuindo as virtudes (eficiência, flexibilidade, inovação) ao setor privado, e os vícios (ineficiência, morosidade, rigidez) ao setor público.

Argumentar que o setor privado é sempre eficiente e dinâmico, enquanto o governo é sempre pesado e ineficiente é simplificar uma questão muito complexa. Uma investigação séria pede que façamos perguntas mais profundas: em quais situações a intervenção do governo é benéfica e desejada? O setor privado operando no livre mercado produz sempre os melhores resultados econômicos e sociais? Qual a melhor forma de combinar as virtudes dos dois e minimizar suas fraquezas?

Um aspecto central na discussão é a questão de risco e retorno. Segundo a teoria econômica liberal, o ator racional procurará encontrar uma combinação "ótima" entre risco, retorno e liquidez na composição do seu portfólio de ativos. Isso não quer dizer que ele será sempre conservador (embora, na maioria das vezes, prefira agir cautelosamente), mas precisará perceber ganhos potencialmente muito altos para embarcar em empreendimentos de alto risco – o alto risco tem que vir acompanhado de altos ganhos. Além disso, o empreendedor tem que perceber chances significativas de sucesso para o empreendimento. De nada adianta um retorno potencial gigantesco em um empreendimento com chance quase nula de sucesso.

Os teóricos clássicos argumentam que:

[...] apenas o abordam o Estado quando falam de consertar as “falhas de mercado”. A teoria econômica padrão justifica a intervenção estatal quando o retorno social do investimento é maior do que o retorno privado – fazendo com que seja improvável que uma empresa privada invista. De limpar a poluição (uma “externalidade negativa” não inclusa nos preços das companhias) até **financiar pesquisa básica** (um “bem público” difícil de se apropriar). (MAZZUCATO, 2013, p. 16, tradução livre, destaque nosso)

Já o Estado consegue operar em uma lógica diferente dos atores privados. Ele faz isso porque procura garantir fins diversos daqueles do setor privado – lembremos que o Estado precisa garantir a estabilidade social e o interesse público (retorno social). Além disso, os recursos do Estado são abundantes o suficiente para absorver prejuízos de empreendimentos fracassados, de forma que a falha não é percebida como algo fatal. É possível apoiar vários “fracassos” até que um sucesso compense as perdas.

O ideal é que o Estado e o setor privado sejam complementares, criando uma sinergia que promova a prosperidade nacional. Quando apresenta disfunções, o Estado pode ser bastante prejudicial para a sociedade, mas

Quando organizada efetivamente, a mão do Estado é firme, mas não pesada, fornecendo a visão e o incentivo dinâmico [...] para fazer acontecerem coisas que, de outra forma, não teriam acontecido. Tais ações procuram aumentar a coragem das empresas privadas. Isso requer o entendimento de que o Estado não é nem um “intruso” nem um simples “facilitador” do crescimento econômico. **Ele é um parceiro-chave do setor privado – e, frequentemente, um parceiro mais ousado, disposto a assumir riscos que as empresas privadas não assumirão.** O Estado não pode e não deve se dobrar facilmente aos grupos de interesse que se aproximam dele e procuram vantagens, rendas [*rent seeking*] e privilégios desnecessários como cortes de impostos. (MAZZUCATO, 2013, p. 17, tradução livre, destaque nosso)

Aqui vemos que um Estado forte é essencial para manter as disfunções do setor privado em cheque. Além disso, um Estado bem organizado e efetivo é essencial como parceiro para a iniciativa privada.

É preciso ter cuidado para que um discurso ideologizado a favor do setor privado não legitime a captura do Estado<sup>18</sup>: um discurso comum, por exemplo, é o de que “o setor privado não investe em novas tecnologias por causa dos impostos” (MAZZUCATO, 2013, pp. 31-32); no entanto, mais importante do que a renúncia fiscal ou redução dos impostos, é um Estado eficiente e atuante em apoio à iniciativa privada. Resumidamente, a relação entre setor privado e Estado, quando saudável, é mutuamente benéfica, mas deve-se tomar cuidado para que nenhum dos dois se torne um parasita (MAZZUCATO, 2013).

Entre os argumentos contra a atuação estatal, há o de que o investimento público afasta os recursos privados, no efeito chamado de *crowding out*. No entanto,

Até quando há um *boom* de crescimento (quando, em teoria, a capacidade da economia está em total utilização), existem, na prática, muitas partes do “ambiente de risco” [*risk landscape*] em que os negócios privados têm medo de participar, e que o governo tem que liderar. Na verdade, os gastos que financiaram a *internet* ocorreram, predominantemente, durante períodos de *boom* econômico – e também foi o financiamento público que levou à indústria de

---

<sup>18</sup> Desvios na dinâmica do setor privado podem levar as empresas a serem *contra* a inovação: “Uma vez que obtém um contrato, as grandes empresas de defesa podem usar sua influência política no Capitólio para protegê-las do que elas percebem como demandas excessivas por inovação” (BLOCK & KELLER, p. 19, tradução livre)

Sobre o Estado e P&D, Mazzucato (2013) argumenta que existem alguns mitos sobre a inovação, o governo e o mercado privado. Entre eles, três são mais relevantes para a pesquisa: (1) P&D está diretamente relacionada ao crescimento econômico empresarial e nacional; (2) o capital ama se arriscar; e (3) Diminuir impostos e regulação incentiva a inovação.

Sobre o primeiro ponto, variável P&D sozinha não é capaz de definir o crescimento das empresas ou da economia nacional, embora seja componente essencial do processo. Para além dos investimentos em P&D, é necessário planejar, buscar alianças comerciais e mesmo promover o “patenteamento persistente” de inovações. Não basta apenas financiar pesquisas: é necessário estabelecer parcerias, proteger e incentivar os atores para que as inovações produzam *spillovers* e desenvolvimento para a economia como um todo.

Em relação à predisposição do capital de se arriscar, trata-se de uma falácia porque os empresários buscam investimentos com maior segurança de retorno, como já foi dito antes. O Estado precisa arcar com certos custos da inovação para que o setor privado atue dinamicamente, principalmente com os custos de pesquisa básica<sup>19</sup>. Aí está a importância dos investimentos públicos em pesquisa e nas universidades públicas.

Em relação aos impostos e regulação, os recursos privados são mais atraídos por um ambiente de negócios e mercado robustos do que pelos baixos impostos ou regulação liberal. A Pfizer, por exemplo, migrou para os EUA mesmo sem incentivos fiscais ou regulamentos especialmente favoráveis (MAZZUCATO, 2013). Uma outra questão importante é que, principalmente a partir da chamada “Revolução Keynesiana”, entendeu-se que os gastos do Estado são essenciais para manter a renda e o emprego. Investimentos públicos no setor de P&D possuem, também, efeitos macroeconômicos importantes (BLOCK & KELLER, 2016).

---

<sup>19</sup> Mazzucato (2006) se refere a este fato como “divisão de trabalho” (p. 4).

### 3.2.4 Autonomia Integrada

A partir dos argumentos apresentados até aqui, percebe-se que o Estado é essencial para limitar, apoiar e atuar em complementaridade às capacidades do setor privado. No entanto, é importante explorar de que formas o Estado pode atuar em sinergia com a iniciativa privada. O assunto é discutido no livro de Peter Evans, *Embedded Autonomy: States and Industrial Transformation* (1995).

Primeiramente, Evans reforça o argumento de Mazzucato de que o Estado é essencial para manter sob controle as disfunções de um mercado livre:

Sem o Estado, mercados e outras instituições centrais da sociedade moderna não podem funcionar. Nós não gastamos nosso valioso tempo em filas em frente de mesas de burocratas porque somos masoquistas. **Nós frequentamos as filas porque nós precisamos do que o Estado provê. Nós precisamos de regras previsíveis e estas precisam de uma organização concreta [o Estado] por trás delas.** (EVANS, 1995, p. 3, tradução livre, destaque nosso)

Até instituições correntemente associadas com a defesa do liberalismo econômico, como o Banco Mundial e o Fundo Monetário Internacional já reconheceram a importância da atuação do governo na inovação. Em um encontro anual das duas instituições, um diretor do Banco Mundial comentou sobre os países recentemente industrializados do Leste Asiático e afirmou que “um papel governamental positivo pode ser um fator decisivo para o rápido crescimento industrial” (EVANS, 1995, p. 21, tradução livre).

Mas qual seria a intervenção “positiva” mencionada pelo diretor do Banco Mundial? Há diversas formas de atuar no mercado. Um governo pode assumir um papel de custódio, como regulador, estabelecendo as regras a serem aplicadas a determinado setor ou atividade (EVANS, 1995). As regras fornecem segurança jurídica para os atores que querem entrar em uma determinada área; além disso, elas podem ter um conteúdo de promoção, visando oferecer incentivos e estímulo.

Além do papel como regulador, o Estado pode atuar mais diretamente ainda e assumir o papel de demiurgo, ou seja, prover diretamente um bem ou serviço percebido como estratégico. O governo assume esta posição quando pressupõe que

o capital privado é incapaz de sustentar com sucesso o desenvolvimento da [...] produção. Consequentemente, o Estado se torna um “Demiurgo”, estabelecendo empreendimentos que competem

nos mercados de bens “privados” normais. (EVANS, 1995, p. 13, tradução livre)

O Estado pode atuar, também, de forma indireta. É possível proteger iniciativas privadas em setores estratégicos (cortes de impostos, proteção alfandegária etc.) na esperança de que os empresários desenvolvam os setores contemplados; também é possível ser mais assertivo e convidar ativamente empresários para atuar nos setores desejados (EVANS, 1995).

Esses papéis requerem uma revisão da relação entre Estado e sociedade. A tradição weberiana clássica imaginava um tipo ideal de Estado que atuaria de forma impessoal e autônoma. No entanto, um Estado assim seria incapaz de se comunicar efetivamente com as necessidades da sociedade. Ele não conseguiria coordenar soluções para problemas de ação coletiva; tampouco conseguiria tomar as decisões econômicas ótimas, pois estaria demasiadamente apartado dos produtores e dos consumidores. Por outro lado, um Estado muito comprometido com determinados grupos de interesse também apresenta problemas e desvios (EVANS, 1995). A solução é alcançar um ponto de equilíbrio: o governo deve estar em contato constante com a sociedade, mas deve reter sua independência perante grupos de interesse específicos. Ele deve alcançar uma autonomia integrada (EVANS, 1995).

A intervenção do Estado na estrutura econômica é importante porque há setores estratégicos que podem não ser priorizados pela atuação dos atores privados em um livre mercado. Lembremos da teoria das vantagens comparativas: um país que consegue produzir mais de um determinado bem com menor quantidade de insumos, deveria se dedicar o máximo possível àquela produção e importar os produtos em que possui desvantagens comparativas (GALLARDO, 2005). Nesta lógica, as intervenções do governo apenas reduziram o bem-estar agregado, pois elas levariam a alocações ineficientes dos fatores produtivos. No entanto, as vantagens comparativas não surgem do nada. Elas são construídas ao longo do tempo. Frequentemente, elas são construídas com apoio e incentivo do governo.

Construir vantagens comparativas em produtos e serviços estratégicos é um elemento que determina a posição de um país no sistema econômico internacional. Um país que produz componentes de informática críticos, por exemplo, tem maior poder de barganha do que um país que se dedica

inteiramente à produção agrícola: é sempre possível encontrar outros vendedores dos produtos agrícolas (mesmo que os preços sejam mais altos); no entanto, pode ser impossível encontrar vendedores alternativos de determinados componentes de informática. Apesar de importante, a construção de vantagens comparativas é difícil e demorada. É por isso que um governo deve ter a visão, paciência e resiliência para desenvolver setores para o futuro, aceitando os riscos e prejuízos a curto prazo para alcançar uma posição vantajosa no futuro.

### 3.2.5 A Importância da Inovação

Alterar a estrutura de vantagens comparativas e se colocar na vanguarda de setores-chave exige inovação. Freeman e Soete (2008) argumentam que as inovações são essenciais para sustentar e acelerar a taxa de crescimento. Elas também têm o potencial de melhorar a qualidade de vida, preservar o meio ambiente e conservar os recursos naturais. Ainda segundo os autores, o tema foi abordado pontualmente por atores como Adam Smith e Marx; no entanto, o estudo sistemático da inovação só se popularizou recentemente. Uma das razões que contribuíram para a falta de atenção que a inovação recebeu na Economia é que os economistas

[...] também foram vítimas de seus próprios pressupostos e da devoção a sistemas aceitos de pensamento que tendiam a encarar os fluxos de novos conhecimentos, das invenções e inovações como fatores externos ao arcabouço dos modelos econômicos ou, mais estritamente, como variáveis exógenas. Uma grande parte da teoria econômica estava voltada para análises de curto prazo das flutuações na oferta e na demanda de bens e serviços. **Ainda que sejam muito úteis para numerosos propósitos, estes modelos normalmente excluem as mudanças tecnológicas** [...] (FREEMAN & SOETE, 2008, pp. 20-21, destaque nosso)

Um dos teóricos que se tornaram referência na relação entre crescimento econômico e inovação foi Joseph Schumpeter (1997). O autor estabeleceu que a importância da inovação e avanços tecnológicos estão subordinados à lógica da inovação aos ditames da economia:

O objetivo da produção tecnológica é na verdade determinado pelo sistema econômico; a tecnologia só desenvolve métodos produtivos para bens procurados. A realidade econômica não executa necessariamente os métodos até que cheguem à sua conclusão lógica com inteireza tecnológica, mas subordina sua execução a pontos de vista econômicos. O ideal tecnológico, que não leva em conta as condições econômicas, é modificado. **A lógica econômica prevalece sobre a tecnológica.** E em consequência [sic] vemos na vida real por

toda a parte à nossa volta cordas rotas em vez de cabos de aço, animais de tração defeituosos ao invés de linhagens de exposição, o trabalho manual mais primitivo ao invés de máquinas perfeitas, uma desajeitada economia baseada no dinheiro em vez de na circulação de cheques, e assim por diante. **O ótimo econômico e o perfeito tecnologicamente não precisam divergir, no entanto o fazem com frequência [sic], não apenas por causa da ignorância e da indolência, mas porque métodos que são tecnologicamente inferiores ainda podem ser os que melhor se ajustam às condições econômicas dadas** (SCHUMPETER, 1997, pp. 32-33, destaque nosso)

Ou seja, caso uma invenção não apresente um ganho perceptível imediato, ela não será adotada pelos atores privados<sup>20</sup>. Tal ponto de vista faz sentido se considerarmos o pressuposto de um ator plenamente racional visando ganhos a curto e médio prazo<sup>21</sup>. Para este autor, os avanços são introduzidos lentamente, à medida que os atores do mercado conseguem utilizar as inovações para aumentar a produtividade.

Schumpeter analisou os ciclos econômicos a partir de dois fatores de produção básicos: trabalho e terra. Tudo que é produzido em uma sociedade é fruto de combinações específicas destes dois insumos. A curto prazo, tanto a terra quanto o trabalho que podem ser fornecidos podem ser tidos como fixos. A longo prazo, pode haver o aumento da terra e do número de trabalhadores disponíveis. Uma vez que a mão de obra aumentada também consumirá o produto aumentado, o ganho *per capita* desta lógica seria bem pequeno ou mesmo nulo. No entanto, como bem sabemos, o ser humano conseguiu aumentar drasticamente a sua produção com inovações tecnológicas. Isso ocorre porque as inovações permitem combinar os dois insumos básicos de forma mais eficiente e mesmo totalmente nova. Logo, para uma mesma quantidade de insumos, o ser humano é capaz de produzir cada vez mais.

---

<sup>20</sup> Mas pode ser adotado pelo setor público, pois este possui interesses diversos. Lembremos das discussões de Polanyi (2000).

<sup>21</sup> A afirmação de Schumpeter parece explicar alguns eventos históricos curiosos. Os antigos gregos já conheciam os princípios que lhes permitiriam criar máquinas a vapor (ENCICLOPÉDIA BRITANNICA, 2023), mas não foi feito nenhum esforço no sentido de desenvolver a inovação. Da mesma forma, o desenvolvimento da energia nuclear historicamente foi retardado por seus elevados custos, se comparados com os preços dos combustíveis fósseis (BLOCK & KELLER, 2016).

Desta forma, Schumpeter (1997) relaciona desenvolvimento à introdução de inovações no processo produtivo. Ele identifica cinco possibilidades para o desenvolvimento econômico:

1) Introdução de um novo bem — ou seja, um bem com que os consumidores ainda não estiverem familiarizados — ou de uma nova qualidade de um bem. 2) Introdução de um novo método de produção, ou seja, um método que ainda não tenha sido testado pela experiência no ramo próprio da indústria de transformação, que de modo algum precisa ser baseada numa descoberta cientificamente nova, e pode consistir também em nova maneira de manejar comercialmente uma mercadoria. **3) Abertura de um novo mercado, ou seja, de um mercado em que o ramo particular da indústria de transformação do país em questão não tenha ainda entrado, quer esse mercado tenha existido antes, quer não.** 4) Conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados, mais uma vez independentemente do fato de que essa fonte já existia ou teve que ser criada. 5) Estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria, como a criação de uma posição de monopólio (por exemplo, pela trustificação) ou a fragmentação de uma posição de monopólio (SCHUMPETER, 1997, p. 76, destaque nosso)

Todas essas possibilidades exigem recursos para se realizar. O crédito é justamente um meio de possibilitar a utilização de fatores de produção pelos empreendedores, termo que ele utiliza para denominar apenas aqueles que combinam os insumos de forma inovadora (o Estado pode ser um empreendedor). Apesar da contribuição de Schumpeter, a inovação e o avanço tecnológico permaneceram variáveis secundárias nos modelos econômicos durante um bom tempo.

Os modelos econômicos até a década de 1980 não davam importância central para o processo de inovação. Só em tempos mais recentes que as variáveis relativas aos avanços tecnológicos se tornaram centrais na dinâmica do crescimento econômico<sup>22</sup>. A mudança se tornou mais perceptível logo nos anos 1980 e 1990, período em que houve aumento explosivo de interesse sobre a inovação. Para se ter uma ideia de como o avanço tecnológico foi internalizado,

---

<sup>22</sup> “Em princípio, sempre foi naturalmente reconhecido que “outras coisas” eram extremamente importantes, mas foi apenas em períodos mais recentes que tais fatores começaram a fazer parte do conteúdo das análises econômicas sistemáticas. Pode-se assinalar que a maior parte dos primeiros estudos econométricos sobre o crescimento dos países industrializados atribuiu a maior parcela do crescimento medido ao progresso técnico, em vez de considerá-lo resultado do aumento de volume dos tradicionais insumos de capital e trabalho. **Apesar disso, a mudança técnica permaneceu à margem e não no centro das análises econômicas.**” (FREEMAN & SOETE, 2008, p. 21, grifo meu)

A revisão do Banco Mundial (1991) sobre teorias do desenvolvimento econômico também refletiu esta mudança significativa ao encarar o crescimento principalmente como decorrente de “investimentos intangíveis” [...] visto dessa maneira, o processo de investimento é definido tanto em termos da distribuição e produção de conhecimento como pela produção e uso de bens de capital, os quais incorporam os avanços da ciência e tecnologia. **O investimento intangível em novo conhecimentos são elementos críticos, ao contrário dos investimentos “tangíveis” em tijolos e máquinas.** (FREEMAN & SOETE, 2008, pp. 21-22; grifo meu)

Portanto, em modelos mais atuais, a inovação é uma variável capaz de alterar estruturalmente a economia a longo prazo. Um exemplo histórico dessa dinâmica é a significativa mudança estrutural ocorrida com a Revolução Industrial. Neste jogo de longo termo, o incentivo à pesquisa e produção de conhecimento são essenciais: na década de 1960, cerca de 30% da força de trabalho dos EUA “estava engajada em ocupações essencialmente voltadas para a produção e o manuseio de informações em vez de produtos (MACHLUP *apud* FREEMAN & SOETE, 2008, p. 23).

Sendo a inovação tão central para o desenvolvimento e aumento da riqueza ao longo do tempo, faz-se necessário estabelecer mecanismos para desenvolver e incentivar a introdução de novas tecnologias. Um desses mecanismos, de acordo com Aghion *et al.* (2021), é a proteção de direitos de propriedade intelectual. Tais direitos, no entanto, também apresentam o paradoxal potencial de atrasar a inovação nos casos em que os atores já estabelecidos (os inovadores de outrora) conseguem impedir que novas ideias entrem no mercado e atrapalhem sua posição. Daí a importância do Estado no processo: é preciso um regulador efetivo para incentivar novas inovações, ao mesmo tempo que impede os atores já estabelecidos de atrasar ou bloquear o processo de inovação.

A ideia de destinar recursos públicos à pesquisa tem um primeiro expoente no século XVII e foi defendida por ninguém menos do que Francis Bacon (FREEMAN & SOETE, 2008), que defendia a criação de um instituto público de pesquisas, como já foi mencionado. A necessidade do estabelecimento de centros de pesquisa foi fruto da complexificação da

economia a partir da Revolução Industrial, pois a maior parte da inovação era feita de forma prática e assistemática em sociedades pré-industriais<sup>23</sup>.

Apesar da defesa de Francis Bacon e seus correligionários, poucos recursos públicos foram investidos em inovação até fins do século XIX. No entanto, os poucos recursos que foram investidos tenderam a gerar inovações importantes:

[...] o Arsenal de Springfield foi pioneiro na tecnologia de peças intercambiáveis, enquanto os primeiros trabalhos de Frederick Taylor em ligas de aço foram financiados pela Marinha dos EUA. As fábricas de armas pertencentes à Beretta, descrita por alguns como a “dinastia industrial mais antiga do mundo” (Jaikumar, 1988), lideraram a introdução de muitas novas tecnologias na Itália [...] (FREEMAN & SOETE, 2008, p. 640)

Com o tempo percebeu-se que o investimento agregado em pesquisa seria inferior ao nível desejado caso fosse deixado a cargo do mercado (NELSON, 1959). O problema é particularmente grave na área da pesquisa básica, pois esta é altamente custosa, de longo prazo e arriscada. Além disso, não é possível prever quais empresas e setores lucrarão com os resultados da pesquisa básica. Um empresário racional não se sente incentivado a fazer investimentos nestas condições. Atores do setor privado tenderiam a investir em empreendimentos de curto e médio prazo com “rendimento dentro de poucos anos ou, no máximo, em uma década” (FREEMAN & SOETE, 2008, p. 645).

Apesar do financiamento público da pesquisa ser importante, é crucial que ele seja feito levando em conta as forças e fraquezas do setor público. Além disso, é essencial procurar complementaridade na iniciativa privada:

[...] as tentativas de se copiarem programas militares de impacto em tecnologias civis como as do SST (*Supersonic Transport*) e dos reatores nucleares foram mal-concebidas e resultaram em um considerável desperdício de recursos. Os gastos governamentais, embora muito importantes, deveriam ter sido concentrados em pesquisas aplicadas e no desenvolvimento experimental de novas tecnologias [...] Nos estágios de desenvolvimento diretamente

---

<sup>23</sup> “Adam Smith (1776) observou que as melhorias no maquinário vinham tanto dos fabricantes de máquinas como de seus usuários, e também dos ‘filósofos ou pensadores, cujas atividades não envolvem qualquer labor que não seja tudo observar’. Embora ele tenha notado a importância dos ‘filósofos naturais’ (a palavra ‘cientista’ começou a ser usada só no século XIX), no seu tempo **os avanços da tecnologia estavam em grande parte relacionados à inventividade das pessoas que trabalhavam diretamente no processo de produção [...]**” (FREEMAN & SOETE, 2008, p. 30, destaque nosso)

vinculados à introdução de produtos ou sistemas comerciais, é muito mais provável que os desperdícios sejam evitados se forem efetuados pelas empresas (FREEMAN & SOETE, 2008, p. 650)

É comum que os governos apoiem as empresas que desenvolvem os produtos para o mercado como forma de promover a economia nacional e desenvolver setores estratégicos para o país.

### 3.2.6 Sistemas de Inovação Nacional

Cada Estado possui um sistema nacional de inovação, que é o ecossistema organizacional (instituições e suas relações) onde são produzidas as inovações. Tal ecossistema condiz com a cultura empreendedora do país, seu estado tecnológico e seu contexto político. Determinados sistemas nacionais de inovação contarão com maior iniciativa e peso do setor privado, enquanto outros serão mais guiados pelas mãos do Estado.

Tanto o setor público quanto o setor privado possuem forças e fraquezas no processo de inovação. No início do século XX, por exemplo,

O laboratório de pesquisa industrial, uma instalação dedicada à pesquisa e ao desenvolvimento de produtos e processos novos ou aprimorados, e com cientistas e engenheiros treinados em universidades, havia se tornado o principal local de avanço técnico nas indústrias química e elétrica, e estava começando a se tornar cada vez mais importante de maneira mais ampla. Os laboratórios industriais trabalhavam em conjunto com universidades que treinavam seus novos cientistas e engenheiros de P&D, e que realizavam pesquisas nas novas ciências aplicadas e disciplinas de engenharia, bem como nas ciências básicas mais tradicionais... **Há várias razões pelas quais o laboratório de pesquisa industrial, em vez dos laboratórios universitários ou instalações governamentais, se tornou o local dominante da parte de P&D da inovação na maioria (mas não em todos) os campos... ao longo do tempo, as empresas em uma indústria tendem a desenvolver capacidades para realizar certos tipos de P&D que, embora baseados no conhecimento científico público, o transcendem, sendo amplamente baseados na prática...** o processo de melhoria cumulativa e variação, que apontamos como responsável pela maioria do P&D e da inovação, tende a ser realizado pelas empresas já estabelecidas. (NELSON, 1993, p. 10, tradução livre)

Retoma-se, portanto, as discussões de Mazzucato (2013) e Evans (1995) sobre a necessidade de complementaridade entre o setor público e o setor privado.

Os sistemas nacionais de inovação apresentam caráter evolutivo, respondendo ao contexto econômico nacional e internacional mais amplo. Atualmente,

Instalações de P&D, com cientistas e engenheiros treinados em universidades e vinculados a empresas, universidades ou agências governamentais, são os principais veículos pelos quais o avanço tecnológico ocorre, em campos como equipamentos e sistemas elétricos, produtos e processos químicos e aviação. A maioria das análises contemporâneas das capacidades nacionais em tecnologia concentra-se nesse tipo de instituições e indústrias. (NELSON, 1993, pp. 5-6, tradução livre)

A pesquisa e o desenvolvimento de novos produtos possuem uma relação íntima com o fornecimento de bens e produtos já estabelecidos no mercado. São as lacunas percebidas em tais bens e serviços que levam a esforços de P&D. Além disso, é justamente o tamanho do mercado corrente que atrai empresas, governos e pesquisadores para determinados campos de pesquisa<sup>24</sup>.

Os gastos em produtos e serviços já existentes são um importante componente da inovação. Embora a pesquisa e introdução de novos produtos e processos seja a face mais visível da inovação, ela só é possibilitada pelos investimentos em equipamentos e instalações que produzirão o novo produto ou incorporarão o novo processo. Os gastos em equipamentos e instalações superam, em muitas vezes, os gastos em P&D de uma organização (NELSON, 1993).

É inegável o papel que as universidades têm assumido na produção de conhecimento. Elas são responsáveis por desenvolver boa parte da pesquisa básica, além de treinar os profissionais que atuarão nas áreas técnicas e de pesquisa futuramente. Um aspecto bastante interessante sobre essas instituições é que em “quase todas as nações as universidades são financiadas, em grau substancial, por governos” (NELSON, 1993, p. 12, tradução livre). No entanto, a organização das universidades e o sistema de financiamento destas varia apreciavelmente de país para país (NELSON, 1993).

Outra fonte importante de inovação são as pesquisas realizadas no âmbito da indústria. Nesta área o setor privado financia muitos projetos, sendo

---

<sup>24</sup> A maioria dos gastos com P&D industrial são em produtos que existem há muito tempo, como aeronaves, automóveis e câmeras (que existem há cerca de 150 anos). São esses produtos existentes que definem o quadro no qual as melhorias podem ser identificadas e empreendidas. Mesmo o transistor, que transformou drasticamente o mundo na segunda metade do século XX, existe há mais de 40 anos. Sua introdução no final da década de 1940 lançou as bases para a contínua revolução da microeletrônica. No entanto, o transistor original era um dispositivo frágil, pouco confiável e caro. Somente as melhorias subsequentes nesse dispositivo original e primitivo possibilitaram a revolução posterior da microeletrônica." (NELSON, 1993, p. 9, tradução livre)

suplementado por dinheiro público quando o projeto é percebido como de interesse relevante para o governo. Como os recursos são limitados, existem setores em que o financiamento público compõe uma boa parcela do total, enquanto existem setores em que a participação de financiamento público é pequena. Uma vez que os cientistas que trabalham nos laboratórios industriais são treinados nas universidades, o financiamento público entra indiretamente no treinamento e na pesquisa até no setor privado.

O tipo de pesquisa e/ou produto financiado é importante para determinar o efeito que o gasto terá. Gastos em produtos e pesquisas de cunho militar, em que o governo é, em geral, o único comprador, apresentam um maior potencial de mudar a estrutura da indústria bélica e setores diretamente ligados a esta (pois há um monopólio e as empresas têm de se adequar às demandas do governo), mas possuem menor multiplicador econômico; já as compras e pesquisas que envolvem necessidades gerais e mercados com um grande número de compradores (como a compra de alimentos) implicam em um menor poder de mudança estrutural, mas possuem maior multiplicador econômico.

### **3.3 Militares, Relações Internacionais e o Indústria Bélica**

Tendo em vista o objeto de nossa pesquisa, é importante destacar o papel de uma instituição específica, as forças armadas, na inovação. Começaremos com uma discussão sobre a teoria do Realista<sup>25</sup> das Relações Internacionais. A teoria em questão procura fornecer um viés pelo qual é possível entender e prever as ações dos países no sistema internacional.

Um grande marco da teoria Realista das Relações Internacionais foi o livro *Política entre as Nações: a luta pelo poder e pela paz* (1948), de Hans J. Morgenthau. Esta obra que marca a fundação do Realismo clássico e expõe os seis princípios básicos da tradição Realista. sendo eles:

- 1) O realismo político acredita que a política, como aliás a sociedade em geral, é governada por leis objetivas que deitam suas raízes na natureza humana [...];
- 2) A principal sinalização que ajuda o realismo político a situar-se em meio à paisagem da política internacional é o

---

<sup>25</sup> Termo surge a partir do estudo de Carr (2001), que denunciou alguns estudiosos das Relações Internacionais por pensarem o mundo como ele *deveria ser* (idealistas) ao invés de refletir sobre como o mundo efetivamente é (realistas).

conceito de interesse definido em termos de poder [...]; 3) O realismo parte do princípio de que seu conceito-chave de interesse definido como poder constitui uma categoria objetiva que é universalmente válida, mas não outorga a esse conceito um significado fixo e permanente [...]; 4) O realismo político é consciente da significação moral da ação política, como o é igualmente da tensão inevitável existente entre o mandamento moral e as exigências de uma ação política de êxito [...]; 5) O realismo político recusa-se a identificar as aspirações morais de uma determinada nação com as leis morais que governam o universo [...] 6) Intelectualmente, o realista político sustenta a autonomia da esfera política, do mesmo modo como o economista, o advogado e o moralista sustentam as deles. Ele raciocina em termos de interesse definido como poder; enquanto o economista pensa em função do interesse definido como riqueza; o advogado, toma por base a conformidade da ação com as normas legais; e o moralista usa como referência a conformidade da ação com os princípios morais [...]. (MORGUENTHAU, 2003; p. 4-22).

Morguenthau enumera diversas fontes de poder a que os Estados podem recorrer para exercer poder, sendo que essas incluem, também, elementos não tangíveis como o prestígio e o Direito Internacional (MORGUENTHAU, 2003). Esses fatores intangíveis de poder seriam em grande parte abandonados pela corrente neorrealista que sucedeu o Realismo clássico, que considera somente aspectos materiais.

Os Realistas estudam seu objeto (o Sistema Internacional) a partir de uma abordagem sistêmica, ou seja, uma abordagem que parte dos efeitos coletivos das interações entre os autores. Além disso, tais efeitos coletivos não equivalem à soma das partes individuais (WALTZ, 2010). Essa abordagem, já presente no trabalho de Morguenthau, seria refinada e desenvolvida na corrente neorrealista de John J. Mearsheimer (2007) e Kenneth Waltz (2001).

A abordagem sistêmica dos estudiosos neorrealistas analisa as ações dos atores — que para esses autores são identificados como sendo principalmente os Estados, e dentre estes, as grandes potências são os mais importantes — através de incentivos e constrangimentos que o sistema impõe aos mesmos. Os Estados são, portanto, incentivados a adotar certos padrões comportamentais para que garantam a existência continuada como entidades políticas. A sobrevivência política é o interesse primordial de todos os Estados (WALTZ, 2010, p. 91, tradução livre). Afinal de contas, para perseguir qualquer interesse no sistema, seja a paz mundial ou a total dominação do mundo, é necessário, primeiramente, existir (WALTZ, 2001).

Para garantir sua sobrevivência, os Estados exercem poder para constranger os outros atores do sistema à sua vontade. Como dito anteriormente, os neorealistas negam certos elementos da teoria de Morgenthau, descartando o Direito Internacional e o prestígio como fontes efetivas de poder. Eles consideram apenas a fatores materiais como meios efetivos de garantir a sobrevivência. Os principais fatores materiais são as forças armadas. Em segundo lugar vem o poderio econômico, que, em última instância, pode ser convertido em poder militar – o poderio econômico é chamado de “poder latente” (MEARSHEIMER, 2007). É com o objetivo de buscar o aumento do poder e melhorar as chances de sobrevivência no Sistema Internacional que os Estados se engajam em guerras e corridas armamentistas.

Os Estados podem lançar mão de duas medidas para aumentar o seu poder e tentar alcançar um maior nível de segurança. Primeiramente, eles podem realizar o balanceamento interno, que incluem o aumento da prontidão militar, autarquia (maior independência econômica de atores externos, como feito pela Alemanha nazista nos anos 1930<sup>26</sup>), execução de obras de defesa, aumento dos gastos com armamentos e inovações bélicas, entre outros.

O balanceamento externo (formação de alianças) é a segunda medida possível (WALTZ, 2001). Ele prescreve a formação de alianças e\ou a ajuda econômica e militar tendo em vista restabelecer um equilíbrio no sistema internacional, colocando os adversários revisionistas em cheque. A teoria de Waltz é chamada de Realismo Defensivo por recomendar um posicionamento mais defensivo e ressaltar as dificuldades e riscos inerentes a campanhas de conquista.

A indústria bélica tem uma posição central na visão realista, pois ela gera os bens que protegem contra a agressão em um mundo essencialmente anárquico. Como dito anteriormente, a economia é vista como poder potencial, porque ela pode ser mobilizada e transformada em indústria bélica. É o que acontece nos grandes conflitos, como a Segunda Guerra Mundial. Isso faz com

---

<sup>26</sup> TOOZE, 2013.

que os militares tenham participação direta no desenvolvimento industrial e tecnológico de um país.

Nas democracias são os civis que tomam as decisões finais. No entanto, nos EUA, os militares sempre pressionaram o governo para obter verbas para a compra de novos armamentos e para financiar projetos de pesquisa e desenvolvimento de novos bens militares<sup>27</sup> (SWANSON, 2013). Se os militares fornecem a demanda, a indústria bélica é responsável pela oferta. Elas são responsáveis por

fornecem armas para as forças armadas tanto nacional quanto internacionalmente, por meio de exportações. Elas estão envolvidas no projeto e desenvolvimento (pesquisa e desenvolvimento, ou P&D), produção, operação e modificação do equipamento militar. Elas também estão envolvidas no treinamento de pessoal militar e na administração e manutenção de instalações militares. (HEATLEY, 2017, p. 3, tradução livre)

A indústria bélica não está isolada do restante da economia. É comum uma empresa que atua no ramo bélico diversificar suas atividades, atuando também em certas áreas do setor civil (HEATLEY, 2017). Além disso, compras militares têm um efeito multiplicador na economia, embora se possa argumentar que outros setores possuem efeitos multiplicadores maiores.

Como o setor da defesa, com algumas exceções<sup>28</sup>, vende seus produtos somente para os governos, trata-se de um mercado monopsônico. Como há somente um comprador, ele tem um grande poder de moldar a estrutura deste mercado. Trata-se de um setor em que é mais fácil direcionar o setor privado na direção desejada, pois ou os empresários atendem as demandas, ou eles não terão comprador. Não é necessário nem mesmo informar ou conduzir explicitamente as companhias: o aumento da demanda dos militares por determinado bem já é suficiente para incentivar avanços tecnológicos (RUTTAN, 2006).

---

<sup>27</sup> Particularmente nos EUA, onde o Lobby militar é muito forte. O lobby tende a ser fortalecido em períodos de crise externa, como na Segunda Guerra Mundial, a Guerra Fria e, atualmente, a competição geopolítica com a China. O Presidente Dwight D. Eisenhower (1949-1953), por exemplo, alertou sobre o crescente poder que os burocratas ligados à indústria da defesa adquiriam nos EUA (SWANSON, 2013).

<sup>28</sup> Armas pequenas, como revólveres, pistolas e até alguns rifles podem encontrar alguma demanda no mercado privado, mas as forças armadas são, de longe, os clientes mais importantes da indústria bélica (HEATLEY, 2017).

Sobre a questão dos retornos dos investimentos da indústria bélica, há dois problemas em relação aos dados:

Primeiro, estatísticas oficiais do governo sobre a produção nacional não identificam a indústria bélica como um grupo separado e identificável em qualquer censo das estatísticas de produção [...]. Segundo, não existem avaliações financeiras finais para a produção da indústria bélica: ao invés disso, há somente os valores financeiros para os custos dos inputs das compras de armas. (HEATLEY, 2017, p. 8, tradução livre).

No entanto, mesmo com essas dificuldades de medir precisamente o *spillover* dos investimentos da indústria bélica, é certo que há *algum* retorno em termos de empregos e inovações tecnológicas. Como afirmam Block e Keller (2016):

Começando com a Guerra Revolucionária, continuando com a Guerra de 1812, as guerras contra os nativos estadunidenses e a Guerra Civil, algumas das inovações mais importantes nas tecnologias de produção e organizacionais vieram da manufatura de armas [...] Além disso, as máquinas-ferramentas desenvolvidas para a produção de armas eventualmente migraram para indústrias que produzem máquinas de costurar, bicicletas e, finalmente, automóveis [...] (BLOCK & KELLER, 2016, p. 13, tradução livre)

O serviço prestado pelas forças armadas constitui um caso de bem público (HEATLEY, 2017), pois é não-exclusivo e não-rival. Isso quer dizer que não é possível excluir cidadãos dos benefícios que os investimentos em defesa geram em termos de proteção contra ameaças externas (pois todos os cidadãos são beneficiados, quer eles contribuam ou não). O fato de um cidadão desfrutar da defesa contra ameaças externas, provida pelas forças armadas, não diminui a possibilidade de todos os outros cidadãos desfrutarem igualmente (HEATLEY, 2017). Uma vez que a paz é condição *sine qua non* para o funcionamento adequado das instituições sociais, trata-se de um serviço essencial, mesmo que sua prestação impeça o investimento de recursos em áreas rentáveis. Retomando o pensamento de Polanyi, alguns interesses sociais mais amplos (defesa) têm que ser garantidos acima dos interesses do mercado.

Em relação à P&D, tecnologias novas afetam

como nós definimos os produtores de armas e as indústrias bélicas [...] fabricantes de armas e indústrias não são estáticos: eles estão mudando continuamente para enfrentar novas ameaças e novas tecnologias (HEATLEY, 2017, pp. 4-5, tradução livre).

Isso ocorre porque a tecnologia aplicada ao setor bélico é capaz de criar novas categorias de armas e produtos militares: armas de fogo, aviões, veículos blindados e armas nucleares.

## **4 TRAJETÓRIA DA INDÚSTRIA NUCLEAR DOS EUA**

Esta seção foi estruturada em cinco subseções. A primeira subseção traz uma discussão dos principais desenvolvimentos da física nuclear até o início da Segunda Guerra Mundial. Ela fornece uma ideia geral sobre conceitos importantes para a indústria nuclear, como radiação, reação em cadeia e fissão nuclear.

A segunda subseção traz uma discussão sobre a dinâmica de inovação dos EUA e os usos dos materiais radioativos até o início da Segunda Guerra Mundial.

A terceira subseção discute as grandes mudanças que começaram a ocorrer entre o início da Segunda Guerra Mundial e a entrada oficial dos EUA no conflito, em dezembro de 1941.

A quarta subseção expõe a história do Projeto Manhattan, entre 1942 e 1945, focando no grande esforço dos EUA para produzir a infraestrutura científica e industrial que produziu as primeiras bombas nucleares.

Finalmente, a última subseção aborda as políticas adotadas para a indústria nuclear no pós-guerra. A seção se encerra com os efeitos da promulgação do *Atomic Energy Act* de 1954.

### **4.1 Século XIX-1939: Desenvolvimentos na Física Nuclear**

A história da física nuclear<sup>29</sup> foi marcada por diversas descobertas feitas por cientistas brilhantes que trabalhavam em algumas das universidades mais prestigiosas da Europa e, em menor grau, dos EUA. É importante lembrar que, embora, capazes de treinar cientistas qualificados, as universidades estadunidenses não eram páreo para o prestígio e qualidade do *staff* desfrutado

---

<sup>29</sup> Como é de conhecimento comum, filósofos do mundo antigo e outros intelectuais trabalharam com a ideia de átomo (indivisível); no entanto, a disciplina da física nuclear se estabeleceu a partir das descobertas feitas ao longo dos séculos XIX e XX.

pelas instituições europeias<sup>30</sup> no final do século XIX e início do século XX. As universidades do Velho Mundo recebiam, em geral, apoio e recursos públicos substanciais para financiar seus pesquisadores. A situação era um pouco diferente nos EUA, pois neste país o setor privado era o principal ator no financiamento da pesquisa na maioria das áreas até os anos 1930 (BALOGH, 1991).

Os primeiros pioneiros na área da física nuclear foram Wilhelm Conrad Roentgen e Henri Becquerel. Roentgen trabalhou na década de 1890 com experimentos em tubos catódicos<sup>31</sup>. Ele descobriu uma estranha radiação penetrante que conseguia atravessar materiais menos densos com certa facilidade. Ao direcionar tal radiação contra a sua mão, Roentgen percebeu que, projetado em uma tela na parede atrás de si, ele conseguia ver os seus próprios ossos (JORGENSEN, 2016). O que ocorria era que, quando a corrente de elétrons do tubo catódico se chocava com uma placa de metal, eram produzidos raios-x (raios bastante energéticos) que atravessavam o aparelho e os tecidos menos densos da mão, deixando a sombra dos ossos sobre a tela. Trata-se de uma descoberta revolucionária porque, além das utilizações práticas na medicina (radiografia), tornou-se possível para o ser humano construir máquinas que emitem radiação eletromagnética de forma artificial (JORGENSEN, 2016).

O primeiro cientista a descobrir a radiação emitida naturalmente por um elemento foi Henri Becquerel. Ele também trabalhou na década de 1890. Becquerel percebeu que, ao deixar urânio<sup>32</sup> embrulhado em papel fotográfico, o material produzia manchas no papel. A partir daí, ele deduziu que o urânio emanava algum tipo de energia que manchava a folha<sup>33</sup> (JORGENSEN, 2016). A pergunta lógica a seguir foi: de onde vem a energia? Posteriormente

---

<sup>30</sup> “Virtualmente todos os cientistas “sérios” dos EUA completaram seus estudos em universidades europeias.” (NELSON, 1993, p. 36, tradução livre).

<sup>31</sup> Tubos catódicos são aparelhos que permitem a observação do trânsito de elétrons entre dois polos elétricos. Além dos usos científicos para explorar a estrutura da matéria, os tubos catódicos possuem aplicações práticas: as televisões de tubo utilizavam dos tubos catódicos para produzir as imagens (JORGENSEN, 2016; RHODES, 2012).

<sup>32</sup> O urânio puro não possuía usos correntes na época. A substância utilizada foi sulfato de urânio (JORGENSEN, 2016).

<sup>33</sup> A emanção não podia ter qualquer causa externa, uma vez que o urânio estava em uma gaveta (JORGENSEN, 2016).

descobriu-se ela vem da lenta transformação do urânio em outras substâncias, processo que libera energia.

A energia nuclear só se tornou teoricamente possível devido aos avanços nos modelos atômicos. A grande contribuição veio de Ernest Rutherford e Niels Bohr ao proporem a ideia de que o átomo é como um pequeno sistema solar com um núcleo composto por prótons (carga positiva) e rodeado por elétrons (carga negativa). Os prótons possuem uma massa cerca de mil vezes maior que os elétrons (RHODES, 2012). A enorme contribuição de Rutherford só foi possível graças às instalações do Laboratório de Cavendish e cientistas da Universidade de Cambridge, que, por sua vez, recebiam recursos do governo inglês<sup>34</sup>. Também não convém menosprezar o contato com colegas e mesmo com seu chefe no departamento de Física, o famoso J. J. Thomson, formulador do modelo atômico mais aceito antes das descobertas de Rutherford<sup>35</sup>.

Até o início dos anos 1930 pensava-se que prótons e elétrons eram as duas únicas partículas atômicas elementares. A concentração da massa no núcleo foi corroborada empiricamente a partir de um experimento bastante elegante: bombardeou-se finas folhas de ouro com partículas alfa (hélio-4) e observou-se que a maioria passava pela folha com pequenos desvios; no entanto, um pequeno número de partículas sofria desvios angulares bem maiores (MAHAFFEY, 2009). A hipótese formulada na época é que o átomo concentra a carga em um pequeno núcleo, desviando muito os poucos átomos que chegam perto dele, enquanto que a vasta maioria das partículas passa a uma distância maior do núcleo, sofrendo desvios bem menores (RHODES, 2012).

---

<sup>34</sup> “Durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1919), 13.878 membros da Universidade serviram e 2.470 foram mortos. O ensino e as taxas cobradas quase cessaram, resultando em graves dificuldades financeiras. Como consequência, a Universidade recebeu pela primeira vez apoio sistemático do Estado em 1919, condicionado a uma investigação adicional sobre seus recursos e organização. Uma Comissão Real nomeada em 1920 recomendou que a Universidade (mas não as Faculdades) recebesse uma subvenção anual e fosse reorganizada para assumir a responsabilidade por palestras e ensino prático. As Faculdades mantiveram o controle do ensino individual de seus alunos, e essa divisão de responsabilidades continua até hoje.” (UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, 2023, tradução livre).

<sup>35</sup> Trata-se do modelo chamado de “Pudim com uvas”. Este modelo postulava que existia “Um número de corpúsculos eletricamente negativos cercados por uma esfera de eletrificação positiva uniforme, como ameixas em um pudim.” (RHODES, 2012, p. 42, tradução livre).

Logo veio outra grande descoberta: James Chadwick, físico inglês, descobriu em 1932 que o núcleo atômico não era composto puramente por prótons: existia uma outra partícula com carga neutra importante para a manutenção da estabilidade do núcleo. Apesar de sua carga neutra, o nêutron possui uma massa bastante similar ao próton<sup>36</sup> (BIRD & SHERWIN, 2005). Esta nova partícula foi essencial para explorar os potenciais do átomo porque barreiras elétricas dificultam muito a interação entre partículas de mesma carga. Imaginemos a seguinte situação: é necessário fornecer uma energia elevada para fazer um próton se chocar com outro, pois é necessário superar a repulsão elétrica entre as duas partículas carregadas positivamente<sup>37</sup>; já o nêutron não enfrenta a resistência elétrica, pois ele não possui carga elétrica.

Após sua descoberta, o nêutron<sup>38</sup> foi utilizado para bombardear diversas substâncias. A partir desses experimentos, descobriu-se que ele podia ser usado para quebrar pequenas partes dos átomos (partículas alfas) ou mesmo para se fundir com eles, gerando elementos mais pesados. Em ambos os casos, o processo podia gerar energia a partir da conversão de uma pequena parte da massa atômica em energia, evento previsto pela famosa equação de Albert Einstein<sup>39</sup>:  $E = mc^2$ .

Até então, sabia-se que o átomo bombardeado por nêutrons podia passar por dois processos diferentes: decaimento alfa e decaimento beta. No decaimento alfa, um átomo “cai” duas posições na tabela periódica e emite um átomo de hélio-4; já no decaimento beta, ele absorve o nêutron que subsequentemente se transmuta em um próton, fazendo com que o elemento suba uma posição na tabela de elementos (REED, 2015). Essa descoberta foi

---

<sup>36</sup> Na tabela periódica o átomo geralmente é representado com um número sobrescrito e um outro subscrito. O número sobrescrito é chamado de número de massa (A), a soma média dos nêutrons com os prótons dos diversos isótopos daquele elemento. O número subscrito é chamado de número atômico (Z) e é a quantidade de prótons que aquele átomo possui.

<sup>37</sup> A utilização de elétrons, por outro lado, apresenta dois problemas: (1) eles são desviados por outros elétrons que orbitam o átomo; e (2) eles são demasiadamente leves, com um milésimo da massa de um próton.

<sup>38</sup> Os nêutrons podem ser gerados a partir de uma substância emissora de partículas alfa (Hélio-4), como rádio ou polônio, em contato com Berílio. As partículas alfas se chocam com o Berílio que, por sua vez, libera nêutrons (BAGGOT, 2009).

<sup>39</sup>  $E=mc^2$ . Trata-se de um fator de conversão, onde energia (E) é massa (m) vezes a velocidade da luz (300.000 metros por segundo) ao quadrado. Analisando a equação, chega-se à conclusão de que existe uma imensa quantidade de energia na matéria (RHODES, 2012).

feita por equipes que trabalhavam em instituições intimamente ligadas ao governo, como o grupo de Otto Hahn e Lise Meitner no Instituto Kaiser Wilhelm<sup>40</sup>, na Alemanha, e o grupo de Enrico Fermi, em Roma.

Posteriormente, a partir de pesquisas conduzidas por Otto Hahn, descobriu-se que um átomo bombardeado por nêutrons poderia se partir em dois ou mais fragmentos maiores e liberar outros nêutrons no processo (RHODES, 2012). A “quebra” de um átomo em duas partes menores é chamada de fissão nuclear, nome que foi pego emprestado do campo da Biologia. A verificação desta descoberta e a criação de hipóteses para explicar o ocorrido foram feitas em universidades em toda Europa e nos EUA. De particular importância foram as contribuições de Lise Meitner e de seu sobrinho, Otto Frisch.

Os dois cientistas alemães imaginaram que um núcleo seria comparável com uma gota de um líquido. Quando o átomo é atingido por um nêutron, a “gota” se deforma, alterando seus valores de energia interna e superficial, uma vez que estas duas dependem da posição relativa dos prótons no núcleo. Caso seja possível atingir um átomo com um nêutron suficientemente energético para lhe deformar de determinada forma, a energia do átomo deformado pode ser suficiente para superar a barreira de fissão (ver Anexo I). Quando isso acontece, o átomo se parte (MAHAFFEY, 2009).

Um aspecto importante é que os resultados da colisão entre o nêutron e o núcleo atômico são probabilísticos: é impossível prever, para cada caso específico, se o nêutron atingirá o núcleo e se tal choque produzirá uma fissão. No entanto, a velocidade do nêutron possui bastante influência na probabilidade: colocando de forma simplificada, quanto menor a velocidade, maior a chance de um nêutron interagir com o átomo alvo<sup>41</sup>. Para diminuir a velocidade do nêutron é preciso utilizar um moderador (REED, 2015), como grafite ou água pesada (água formada com isótopos de hidrogênio).

---

<sup>40</sup> Quando elaboraram o modelo da “gota” (*liquid drop*) para explicar a fissão de um átomo, Lise Meitner estava exilada na Suécia. Ela era uma judia austríaca, e sua situação de estrangeira lhe dava certa proteção na Alemanha. Com a anexação da Áustria pela Alemanha (1938), no entanto, a situação tornou-se insustentável. (BIRD & SHERWIN, 2005).

<sup>41</sup> A questão é um pouco mais complexa, mas esta simplificação é bastante útil para entender a fissão nuclear. Reed (2015) aborda a questão com o conceito de *cross section*. Quanto menor a velocidade do nêutron, maior a *cross section* e, portanto, maior a chance de fissão ou absorção do nêutron.

Com a descoberta do nêutron e o *insight* de Lise Meitner, um cientista visionário foi capaz de imaginar uma situação intrigante: e se existir um átomo que, bombardeado por um nêutron, sofre fissão, libera energia e emite dois ou mais nêutrons que atingem outros átomos e assim por diante? Seria possível liberar uma energia prodigiosa com tal processo<sup>42</sup>. Trata-se de uma reação em cadeia (REED, 2015). É justamente o que acontece em um reator (sob controle) e em uma bomba (fora de controle). O nome do cientista em questão era Leo Szilard<sup>43</sup>. Ele nasceu na Hungria, mas saiu de seu país para viver e trabalhar na Inglaterra. Além de genial, Szilard era boêmio e possuía algum talento para mobilizar cientistas e indivíduos ricos para financiar projetos, embora não tenha conseguido levantar os recursos necessários para experimentos com finalidade de verificar a viabilidade da reação em cadeia durante os anos 1930.

A ideia básica por trás da energia nuclear já estava no ar, mas não foi perseguida imediatamente: não havia nenhuma aplicação concreta imediata para atrair o setor privado; os governos europeus e estadunidense ainda estavam abalados pela crise de 1929 e, portanto, estavam mais preocupados com problemas econômicos mais imediatos, como a garantia do emprego, renda e estabilidade política. A possibilidade real de uma bomba atômica ainda era encarada quase da mesma forma como hoje encaramos a possibilidade de viagem interplanetária: teoricamente possível, mas os obstáculos práticos pareciam quase insuperáveis.

A crescente belicosidade da Alemanha foi um elemento bastante relevante para o avanço das pesquisas nucleares. A condução da diplomacia nazista na Europa tornava cada vez mais real a possibilidade de uma nova guerra mundial. As descobertas teóricas na física nuclear tornaram o campo atrativo para os governos, pois havia a possibilidade de desenvolver explosivos de poder destrutivo incomparável, embora nenhum cientista pudesse afirmar

---

<sup>42</sup> Em reações desse tipo, parte da massa do átomo se transforma em energia. Como o fator de conversão é significativo ( $MC^2$ , onde  $C = 300.000$  m/s), trata-se de uma quantidade enorme de energia, milhões de vezes maior do que a reação química mais energética que conhecemos (REED, 2015).

<sup>43</sup> A ideia foi inspirada por um livro de H. G Wells chamado "*A World set Free*", que antecipou a possibilidade da invenção de artefatos explosivos com poder de destruição semelhante à obtida com as bombas nucleares em 1945 (RHODES, 2012).

com certeza que isso era de fato possível em 1939, pois os experimentos ainda não tinham sido feitos para confirmar as previsões teóricas (MAHAFFEY, 2009). Os físicos entendiam muito bem as dificuldades e não entusiasmaram muito seus governos. Pesquisas básicas começaram a ser financiadas por todas as grandes potências, mas com orçamentos modestos e sem promessas de resultados tangíveis a curto prazo.

É possível fissionar qualquer átomo (com o gasto adequado de energia), mas são poucas as substâncias em que isso acontece de forma sustentável (o anexo 1 explica esta questão). São de interesse, portanto, apenas três elementos para a indústria nuclear: o tório-232, o urânio-235 e o plutônio-239. O tório-232<sup>44</sup> não é físsil em si, mas ao ser bombardeado por nêutrons em um reator, se torna urânio-233, que é físsil e serve para gerar energia ou construir armas nucleares. O plutônio-239 não ocorre naturalmente na Terra, devido à sua relativamente curta meia-vida (REED, 2015; BAGGOT, 2009), mas pode ser sintetizado a partir do bombardeamento de urânio-238 em um reator. Finalmente, o urânio-235 ocorre naturalmente, mas está misturado com o seu isótopo mais abundante, o U-238<sup>45</sup>, sendo necessário separá-lo por meio de usinas especiais (o processo é chamado de “enriquecimento”, consistindo no aumento da concentração de U-235 em uma massa de urânio natural).

A separação e a sintetização de elementos exigem usinas de enriquecimento e reatores para realizar o processo. Até o início da década de 1930, a separação de isótopos tinha sido feita somente em laboratório e em pequena escala<sup>46</sup>. Ninguém tinha tentado a separação de isótopos em escala industrial.

A sustentação de uma reação em cadeia em urânio natural depende de um moderador suficientemente eficiente para garantir o máximo possível de fissões no isótopo U-235. Pesquisas realizadas durante a Segunda Guerra

---

<sup>44</sup> Como o processo de conversão do tório em U-233 teria que utilizar reatores que já estão produzindo plutônio, esta via foi abandonada durante a Segunda Guerra Mundial (REED, 2011).

<sup>45</sup> Cerca de 99,3% do urânio natural é composto pelo isótopo 238 (BAGGOT, 2009).

<sup>46</sup> Uma parte do problema é provar que determinado processo é possível; outra questão diferente é implementá-lo em escala industrial. Na época já era possível separar pequenas quantidades de isótopos em laboratório, mas produzi-los em quantidade industrial era um problema que não tinha sido superado na época.

Mundial revelaram que os moderadores mais práticos são o grafite (com elevado grau de pureza) e a água pesada (água, mas com isótopo de hidrogênio mais pesado, chamado de deutério).

## 4.2 Século XIX-1939: O Tradicional Sistema de Inovação

Nos EUA, os investimentos em P&D na área da física nuclear ocorreram em função da estrutura do sistema nacional de inovação do país. A dinâmica de inovação desenvolvimento nos EUA até o final do século XIX era bastante diferente do que observamos hoje. Nos dias atuais a P&D é predominantemente produzida em centros de pesquisa integrados à estrutura corporativa de grandes empresas e nas universidades (muitas delas públicas ou receptoras de dinheiro público); no entanto, as coisas eram bastantes diferentes até o início do século passado. Como veremos, o sistema de inovação começou a mudar paulatinamente a partir do final do século XIX. Foram necessários a maior crise econômica da história e dois conflitos mundiais para estabelecer o sistema de inovação atual, marcado pela importância das universidades e dos centros de pesquisa dedicados, com participação expressiva do investimento público.

Durante a maior parte da história, o ser humano produziu inovações de forma assistemática, contando com a engenhosidade de trabalhadores e das poucas pessoas com algum conhecimento formal para criar ferramentas e técnicas. Nos espantamos com a engenhosidade dos egípcios, gregos e chineses, mas a verdade é que as grandes obras da antiguidade foram fruto de conhecimentos em grande parte práticos<sup>47</sup> (ROBERTS & WESTAD, 2013). Mesmo durante o século XVIII, com o início da Revolução Industrial, o padrão de inovação introduzido pelos próprios trabalhadores a partir do conhecimento prático não se alterou imediatamente. Polanyi (2000) nos lembra que

Para o construtor prático de uma ponte ou de um canal, para o desenhista de máquinas e motores, o conhecimento das leis gerais da natureza era inteiramente inútil antes de terem sido desenvolvidas as novas ciências aplicadas à mecânica e à química. **Telford, fundador e presidente vitalício da Sociedade dos Engenheiros Civis, recusava receber como membros desse órgão os candidatos que**

---

<sup>47</sup> “[...] Só em tempos modernos que um conhecimento mais do que elementar em matemática se tornou necessário para a engenharia; ele certamente não era necessário para construir as pirâmides” (ROBERTS & WESTAD, 2013, p. 75, tradução livre).

**havam estudado física e, segundo Sir David Brewster, ele mesmo nunca se familiarizou com os elementos da geometria** (POLANYI, 2000, p. 146, destaque nosso)

Logo, falar de P&D, Pesquisa e Desenvolvimento, como coisas distintas não fazia sentido até tempos relativamente recentes. As primeiras mudanças no paradigma milenar de aprender e desenvolver com a prática aconteceram devido à complexificação significativa dos engenhos e técnicas introduzidos a partir da Revolução Industrial. Um camponês, trabalhando durante décadas no campo, era capaz de modificar e criar ferramentas, porque os instrumentos com os quais trabalhava eram relativamente simples; no entanto, aumentar a produção em uma siderúrgica, construir pontes para trens<sup>48</sup> ou mesmo construir um motor a vapor mais eficiente são tarefas bem mais difíceis que exigem uma boa dose de conhecimento formal (ROBERTS & WESTAD, 2013). Isso ocorre, também, porque as máquinas e processos se tornaram tão complexos que ficou muito difícil para um indivíduo possuir conhecimento completo sobre eles, sendo necessário trabalhar a inovação em nível organizacional.

Nos EUA, a adoção de conhecimentos sistematizados pela indústria influenciou no aumento da demanda por engenheiros e, conseqüentemente, a expansão do sistema de ensino responsável por treinar esses profissionais. No final do século XIX começaram a surgir universidades e centros de pesquisa privados como os que conhecemos atualmente, como o laboratório de pesquisa da *Du Pont* e universidades públicas responsáveis por realizar pesquisas na área da agropecuária<sup>49</sup> e da mecânica (NELSON, 1993).

Além da necessidade de pessoal especializado, surgiram novas instituições, como os laboratórios de controle de qualidade

[...] que foram estabelecidos dentro de muitas dessas novas e grandes fábricas foram alguns dos primeiros empregadores industriais de cientistas e pessoal de pesquisa. Esses laboratórios ao nível das fábricas gradualmente se expandiram e foram complementados pela criação de laboratórios centrais dedicados a pesquisas de longo prazo. Embora o desenvolvimento de grande parte das pesquisas originais

---

<sup>48</sup> Antes da sistematização da aplicação de conhecimentos matemáticos e modelos de engenharia, cerca de um quarto das pontes construídas nos EUA caía (BLOCK & KELLER, 2016, p. 322).

<sup>49</sup> “Muito da fundação para o extensivo sistema de educação superior financiada com recursos públicos nos Estados Unidos foi criada durante o século XIX como um meio de financiar pesquisas e outros serviços para o setor da agropecuária” (NELSON, 1993, p. 37, tradução livre).

em testes e análises de materiais tenha sido uma resposta às mudanças na estrutura da produção, a expansão e elaboração dessas atividades refletiram mudanças na estrutura organizacional da empresa [...] Esses primeiros laboratórios de pesquisa concentraram-se, em parte, no desenvolvimento de invenções criadas pela pesquisa interna, mas também monitoraram o ambiente em busca de ameaças tecnológicas e oportunidades para a aquisição de novas tecnologias, em muitos casos por meio da compra de patentes ou empresas. Muitas das principais inovações de produtos e processos da Du Pont, por exemplo, foram obtidas pela empresa em um estágio inicial de desenvolvimento, frequentemente com base no conselho do laboratório central de pesquisa (Mueller, 1962; Hounshell e Smith, 1988). (NELSON, 1993, p. 32, tradução livre).

O governo dos EUA também fez investimentos importantes no ensino superior durante o século XIX. O *Monrill act* (1862) estabeleceu o arcabouço legal para o financiamento de universidades estatais para a pesquisa e o ensino nas áreas de agricultura e mecânica<sup>50</sup>. Ato posteriores, como o *Hatch Act* (1887) e o *Adams Act* (1906) também incentivaram o financiamento público de pesquisas na área da agropecuária<sup>51</sup>.

O governo estadunidense não era um grande investidor em inovação durante o século XVIII e início do século XIX, se comparado com o que se tornou durante a Segunda Guerra Mundial. Na verdade, boa parte dos intelectuais *era contra* a participação do setor público na produção acadêmica<sup>52</sup>. Temia-se que o financiamento público poderia afetar a independência dos intelectuais (BALOGH, 1991). A *National Academy of Sciences* (NAS), por exemplo, foi fundada em 1863 com o objetivo de “fornecer consultoria independente e objetiva à nação sobre questões relacionadas à ciência e tecnologia”<sup>53</sup> e se constituiu como uma organização privada que “não recebe compensação do governo pelos seus serviços”<sup>54</sup>.

---

<sup>50</sup> Nelson, 1993.

<sup>51</sup> Nelson, 1993.

<sup>52</sup> “cientistas físicos proeminentes, acolhidos nas universidades ou financiados por agências voluntárias, resistiram ao financiamento federal. Em 1934, o famoso astrônomo e astrofísico George Ellery Hale alertou seus colegas de que uma administração nacional da pesquisa poderia prejudicar as organizações voluntárias que acolhiam a ciência (...)” (BALOGH, 1991, p. 5, tradução livre).

<sup>53</sup> NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2023, tradução livre.

<sup>54</sup> NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 2023, tradução livre.

Os investimentos estatais se concentravam no financiamento de universidades públicas, em pesquisas na área da agropecuária<sup>55</sup> e na compra de material para as forças armadas (que incentivava a P&D que atendia as demandas dos militares). É preciso lembrar, no entanto, que até o consumo das forças armadas estadunidenses em tempos de paz era pequeno, pois o exército permanente do país era diminuto, situação que só se alterou após a Segunda Guerra Mundial.

Embora a participação do governo estadunidense em P&D nesse período tenha sido relativamente tímida, ela teve efeitos importantes, pois estabeleceu uma tendência para o desenvolvimento do ensino superior no país e conseguiu alcançar algum grau de inclusão social: embora no sistema estadunidense as universidades públicas fossem pagas, suas taxas custavam cerca de um quarto das taxas das universidades particulares<sup>56</sup>, pois o Estado subsidiava o Ensino Superior<sup>57</sup>.

É importante lembrar que, embora a participação *direta* (gastos públicos) do Estado não fosse tão expressiva, o governo dos EUA teve uma participação *indireta* muito importante na evolução da indústria americana: a política tarifária protecionista<sup>58</sup> permitiu proteger a indústria contra os concorrentes europeus (O'ROURKE, 2000); e uma certa permissividade legal<sup>59</sup> em relação aos direitos de propriedade permitiu que as invenções fossem rapidamente disseminadas pela cadeia produtiva (USSELMAN, 1991).

---

<sup>55</sup> Até 1940, o investimento em pesquisa agropecuária era o maior gasto em P&D do governo estadunidense, superando, inclusive, os gastos militares deste gênero (BLOCK & KELLER, 2016). De fato, as coisas mudaram bastante de 1940 até os dias atuais!

<sup>56</sup> “Universidades privadas (exceto Stanford) cobravam de US\$ 100 a US\$ 160 por ano, enquanto as universidades estaduais geralmente cobravam de US\$ 30 a US\$ 40.” (GEIGER, 1986, p. 41, tradução livre).

<sup>57</sup> “[...] As universidades estaduais não poderiam se sustentar apenas com as taxas dos alunos e as receitas provenientes de concessões de terras anteriores - elas precisariam de apropriações regulares de fundos públicos anuais.” (GEIGER, 1986, p. 42, tradução livre).

<sup>58</sup> O protecionismo nos EUA possui raízes históricas bem antigas no país. Já no período da independência, o protecionismo era protegido por figuras importantes como Alexander Hamilton.

<sup>59</sup> “Das indústrias de aço, passando pelas indústrias de máquinas de costurar, até o rádio, os Produtores concordaram em compartilhar as patentes ao invés de correr o risco de ter seus investimentos destruídos por uma decisão negativa da corte de patentes [patent court]. Durante o período formativo de um empreendimento, quando os riscos estão mais presentes, patentes significavam uma incerteza adicional” (USSELMAN, 1991, pp. 1048-1049, tradução livre).

Os EUA se caracterizaram, até o início do século XX, por possuir um processo de inovação conduzido principalmente pelo setor privado. A inovação era produzida, até meados do século XIX, pelos próprios trabalhadores, mas foi lentamente migrando para os centros de pesquisa privados estabelecidos pelas grandes empresas e para as universidades (NELSON, 1993, p. 31). O governo atuava defendendo a indústria nacional com tarifas alfandegárias contra as potências europeias e investir em áreas específicas, como agropecuária, educação superior e em equipamentos militares – que tiveram *spillovers* posteriores para o setor civil, como já foi dito.

Os primeiros indícios de mudança no sistema de inovação vieram com a Primeira Guerra Mundial (1914-1918). A eclosão do conflito, em 1914, não arrastou imediatamente os EUA. No entanto, o país passou a fornecer armas às potências da Entente (França, Inglaterra e Rússia) e tinha interesse ativo nos acontecimentos europeus. Neste contexto, os EUA começaram a se mobilizar para entrar no conflito.

Em 1915, foi fundada a *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA), organização responsável por

Alcançar o ritmo das rápidas evoluções tecnológicas na aviação na Europa. Por mais de quarenta anos, o NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) gerenciou e conduziu pesquisas, experimentos, testes de voo e simulações na área da aeronáutica, consolidando um papel importante no crescimento da indústria. Isso levou o NACA a contribuir com os esforços estadunidenses tanto na Primeira Guerra Mundial quanto na Segunda Guerra Mundial. (NASA, 2023, tradução livre).

Em 1916, a Naval Consulting Board preparou um levantamento da capacidade de produção de cerca de 18.000 estabelecimentos industriais nos EUA. “Este inventário industrial foi uma tentativa ambiciosa de listar, descrever e classificar todos os estabelecimentos industriais de importância para o país” (BARUCH & HIPPELHEUSER, 1941, p. 19, tradução livre). Esses dados permitiriam ao governo e aos militares planejarem o funcionamento da economia durante uma guerra que exigiu a mobilização extensiva dos recursos industriais do país.

Ainda em 1916, foi estabelecido o *Council of National Defense*, composto pelos secretários da Guerra, da Marinha, do Interior, da Agricultura, do Comércio e do Trabalho (BARUCH & HIPPELHEUSER). Embora o conselho tivesse

apenas “poderes de aconselhamento” (BARUCH & HIPPELHEUSER, 1941, p. 19), suas funções também incluíam a coordenação da indústria para garantir a segurança nacional. O conselho era composto de diversas comissões, entre elas, uma encarregada de aconselhar sobre “engenharia e educação” (BARUCH & HIPPELHEUSER, 1941, p. 20).

Um quarto desenvolvimento ocorreu em fevereiro de 1917 (semanas antes da entrada oficial dos EUA no conflito). Percebeu-se que as demandas das nações aliadas (a demanda da Entente por munições americanas) começaram a causar escassez de recursos nos EUA. Para resolver esses problemas, foi formada a *Munitions Standards Board*. Entre os objetivos desta nova organização estava “prover meios e encorajamento para aumentar a produção” (BARUCH & HIPPELHEUSER, 1941, p. 23). Em abril de 1917, os EUA entraram oficialmente na Primeira Guerra Mundial.

Em relação à P&D, a guerra trouxe consigo a necessidade de desenvolver tecnologias que colocavam os EUA em desvantagem no campo militar. Foi necessário, por exemplo, alcançar as Potências Centrais na capacidade de produzir armas químicas como o Gás Mostarda (FRIEDRICH et al., 2017). Uma vez que a produção de substâncias químicas que podem ser usadas na guerra está diretamente ligada à capacidade da indústria química de um país, foi necessário fazer investimentos públicos que, após o conflito, beneficiaram a economia civil. Outra área importante foi a indústria aeronáutica, uma vez que a Primeira Guerra Mundial viu o primeiro emprego maciço de meios aéreos para fins militares.

Todas essas iniciativas trouxeram o governo dos EUA mais perto das indústrias e da P&D. Níveis de intervencionismo que eram impensáveis anteriormente foram adotados em um momento de emergência nacional. Apesar da desmobilização após o conflito, o governo assumiu um papel permanente cada vez maior no fomento à pesquisa. Afinal de contas, a separação entre governo e comunidade científica foi identificado como uma lacuna perigosa na

segurança nacional<sup>60</sup>. No entanto, o papel do governo foi exercido indiretamente, preferencialmente apoiando instituições privadas de pesquisa.

Durante os anos 1920, embora a integração entre governo e comunidade científica tenha evoluído bastante, boa parte das instituições responsáveis por P&D nos EUA ainda eram comandadas e financiadas pelas empresas e/ou por organizações do terceiro setor<sup>61</sup>. Universidades públicas existiam, organizações financiadoras e coordenadoras de pesquisa foram herdadas da Primeira Guerra Mundial; no entanto, o governo ainda não possuía uma posição de liderança no processo de P&D, como passou a exercer a partir da Segunda Guerra Mundial.

Apesar dos EUA terem um parque industrial e instituições de pesquisa de excelência, boa parte dos físicos estadunidenses com melhores condições financeiras optavam por fazer parte de sua formação em instituições europeias com maior prestígio, principalmente na Inglaterra e na Alemanha<sup>62 63</sup>. Muitos dos cientistas que assumiram papéis de relevância no Projeto Manhattan (como o famoso Julius Robert Oppenheimer) passaram por universidades europeias, principalmente as inglesas e alemãs (BIRD & SHERWIN, 2005).

---

<sup>60</sup> A guerra fez com que fosse tarefa do governo forçar o desenvolvimento. Barry Karl resumiu o problema das Ciências Sociais, escrevendo que “a lição era a mesma em virtualmente todos os campos. Dos economistas que trabalhavam para a War Industries Board [WIB] aos historiadores e cientistas políticos que aconselhavam o presidente em Versalhes, a questão se resumia em um problema básico: a especialização americana em tais áreas estava, essencialmente, na infância. (BALOGH, 1991, p. 7, tradução minha)

<sup>61</sup> Um aspecto importante de ressaltar na forma de financiamento das universidades desse período eram as doações: uma parte significativa dos recursos das universidades privadas vinha de doações de ex-alunos, suas famílias e de fundações privadas, como a Carnegie e a Rockefeller (GEIGER, 1986).

<sup>62</sup> As universidades alemãs serviram como modelo para a evolução das instituições de Ensino Superior nos EUA no final do século XIX e início do século XX (GEIGER, 1986).

<sup>63</sup> Embora a situação estivesse melhorando na década anterior a 1940, Cohen (1976) observou que praticamente todos os cientistas “sérios” dos Estados Unidos concluíam seus estudos em universidades europeias, e Thackray et al. (1985) argumentam que a pesquisa em química americana durante esse período atraiu atenção (na forma de citações em outros artigos científicos) tanto por sua quantidade quanto por sua qualidade. Curiosamente, análises recentes de citações sugerem que a pesquisa em física americana havia começado a adquirir uma reputação de pesquisa de classe mundial até a década de 1930, antes do influxo de brilhantismo científico resultante da emigração de cientistas europeus para os Estados Unidos. O surgimento da pesquisa em física americana para a eminência científica também é refletido na concessão de Prêmios Nobel a Langmuir, Millikan, Compton e Davison em física durante esse período — dois desses premiados fizeram suas descobertas inovadoras como funcionários de importantes laboratórios de pesquisa industrial nos Estados Unidos. No entanto, a atual eminência da pesquisa científica dos Estados Unidos em uma ampla gama de disciplinas é em grande parte um fenômeno do pós-guerra. (NELSON, 1993, p. 36, tradução livre)

Um catalisador para a maior participação do governo na produção científica foi a necessidade crescente de recursos demandados pela pesquisa básica. Experimentos e observações simples e baratos realizados para corroborar as hipóteses de um Rutherford sobre o átomo ou mesmo a Teoria da Relatividade de Einstein, eram cada vez mais raros. A ciência dos anos 1920 demandava experimentos mais elaborados e equipamentos mais caros, como os cíclotrons que chegavam a custar centenas de milhares ou mesmo milhões de dólares. À medida que a necessidade de financiamento aumentava, as dificuldades do financiamento privado das inovações foram se tornando mais evidentes:

Foi a demanda por recursos, mais do que qualquer outro fator, que juntou os especialistas e os administradores federais. O novo cíclotron de Lawrence tinha o custo estimado de US\$ 1,5 milhões de dólares. Nos anos 1930, o custo da pesquisa e treinamento ameaçava superar as fontes privadas e voluntárias de financiamento. No caso de Lawrence, a Fundação Rockefeller cobriu os custos. Já na metade dos anos 1920, no entanto, a Diretoria de Educação da Fundação Rockefeller já tinha descoberto o quão custoso seus compromissos para construir uma base científica para educação médica poderia ser. (BALOGH, 1991, p. 10, tradução livre)

O setor privado nos EUA fez incursões bastante tímidas na área nuclear até a Segunda Guerra Mundial: neste meio tempo, os interesses se resumiram a pequenas quantidades de materiais radioativos para pesquisa básica, tratamento contra o câncer e alguns bens de consumo, como cosméticos e acessórios.

As pequenas quantidades de materiais exigidos para pesquisa básica não seriam suficientes para expandir consideravelmente a produção e o interesse de empresas privadas na extração e utilização de materiais radioativos. Já a utilização de substâncias radioativas para tratar tumores foi um dos dois grandes pilares que causaram um aumento no interesse pela área de materiais radioativos. Entre tais substâncias estava o rádio, que comumente é extraído juntamente com o urânio (o rádio é um dos frutos do decaimento do urânio). Tendo em vista o potencial do rádio, o setor privado estadunidense se interessou pela sua extração e comercialização (RENTETZI, 2022). Inicialmente, houve a tentativa de estabelecer um monopólio estatal sobre a comercialização de rádio, mas o setor privado venceu e a atividade foi dominada por uma companhia privada. A companhia em questão, a *Standard Chemical Company* (SCC), foi

formada em 1911 (RENTETZI, 2022). Já o urânio tinha usos limitados até a Segunda Guerra Mundial; ele era utilizado para pintar vidros, cerâmicas e para produzir algumas lâmpadas fabricadas pela companhia *Westinghouse* (REED, 2019).

O fornecimento de minerais para o tratamento de câncer fornecia bons lucros, mas a SCC procurou expandir os seus negócios a partir da criação de produtos médicos não relacionados ao tratamento de câncer, como tônicos, fertilizantes e até tinta fluorescente<sup>64</sup> (RENTETZI, 2022). A produção de tônicos para a saúde, como a “água radioativa” (RENTETZI, 2022, p. 9) conseguiu uma boa aceitação nacional até os anos 1920, ainda mais porque a SCC conseguiu persuadir a *American Medical Association* (AMA) a recomendá-los.

Um outro grande mercado para materiais radioativos era os produtos de beleza. Maquiagens contendo rádio e relógios com ponteiros de rádio se tornaram populares no início do século XX (RENTETZI, 2022). No entanto, durante os anos 1920 e 1930, pessoas começaram a procurar o médico com estranhos sintomas:

A sra. Hobart [...] bebeu água radioativa prescrita por seu médico como um tônico para a saúde, aprovado para uso pela American Medical Association (AMA). Hobart estava usando o tônico de rádio para problemas na menopausa enquanto a sua filha obteve a prescrição para o mesmo tônico de rádio pelo mesmo médico para “fadiga de debutante”. (RENTETZI, 2022, p. 9, tradução livre)

A crescente reclamação sobre os efeitos de tratamentos e produtos que utilizavam o rádio levou à ruptura entre a AMA e a *Standard Chemical Company*. Em 1932 a AMA condenou a utilização de substâncias radioativas para tratamentos exóticos, como os tônicos mencionados (RENTETZI, 2022).

Em meados da década de 1930, a possibilidade da fissão nuclear já era teoricamente concebível. No entanto, apesar da enorme energia que poderia ser gerada com o processo, as dificuldades técnicas eram grandes e mesmo os cientistas diretamente envolvidos com as pesquisas duvidavam se seria possível gerar energia nuclear de forma prática e eficiente (RHODES, 2012). Mesmo cientistas com algum carisma e contatos, como Leo Szilard, não conseguiram os

---

<sup>64</sup> Para realizar o marketing dos produtos, a empresa até fundou um jornal chamado *Radium* em 1913 (RENTETZI, 2022, p. 9).

recursos para o início da pesquisa básica em fissão e acabaram até abrindo mão de patentes que possuíam<sup>65</sup> (MAHAFFEY, 2009).

Apesar de alguns investimentos em pesquisa básica na área da física nuclear (como o ciclotron financiado pela Fundação Rockefeller) nenhuma companhia estadunidense fez investimentos para desenvolver a energia nuclear durante os anos 1930 (produção de energia a partir de reações em cadeia atômicas). É importante ressaltar que, durante esta década o grosso do investimento em P&D era feito por companhias privadas, sendo que

Os gastos federais com P&D ao longo da década de 1930 representaram de 12% a 20% do total de gastos com P&D nos Estados Unidos. A indústria foi responsável por cerca de dois terços desse total. O restante proveniente de universidades, governos estaduais, fundações privadas e institutos de pesquisa. Uma estimativa sugere que os fundos estaduais podem ter representado até 14% do financiamento da pesquisa universitária durante 1935-1936 (Conselho Nacional de Planejamento de Recursos, 1942, p. 178). Além disso, a contribuição dos governos estaduais para a pesquisa universitária não agrícola parece ter excedido a contribuição federal com base nesses dados. (NELSON, 1993, p. 35, tradução livre)

No entanto, os investimentos privados relacionados com a área focavam principalmente em aplicações na medicina e em alguns instrumentos para laboratório, como o ciclotron. Um dos principais motivos para isso é porque simplesmente não havia demanda suficiente para uma fonte de energia alternativa ao uso de combustíveis fósseis: o petróleo era abundante e barato nos EUA (o país era o maior produtor de petróleo do mundo na época<sup>66</sup>).

Neste meio tempo, o governo estadunidense passou por mudanças significativas. O grande choque da depressão iniciada no ano de 1929 foi responsável por uma onda de mudanças no governo estadunidense. A derrota de Herbert Hoover para Franklin Delano Roosevelt, em 1932, significou uma enorme mudança do papel do governo na sociedade. Roosevelt tratou de criar diversas agências federais para combater o desemprego e tentar reanimar a economia dos EUA. O controle da economia alcançou níveis inéditos e foi um

---

<sup>65</sup> “A fé de Szilard em sua ideia e seu entusiasmo começaram a diminuir e, em seu humor depressivo, ele escreveu uma carta para o Almirantado Britânico aconselhando que sua aplicação de patente para um reator nuclear deveria ser retirada” (MAHAFFEY, 2009, p. 81, tradução livre).

<sup>66</sup> ROBERTS, 2012, p. 170.

ponto de contenda constante com os republicanos (HAMBY, 2015). Mais do que as agências específicas, o maior impacto de Roosevelt foi na lógica de atuação da Administração Pública: o governo se sentia justificado em assumir as rédeas para combater os efeitos da crise e promover objetivos sociais que o setor privado não conseguiu.

A atitude de Roosevelt partia, também, de crenças internas acerca da importância do governo para a estabilização e promoção do crescimento econômico. Desde sua chegada ao poder, em 1933<sup>67</sup>, o presidente do partido Democrata seguiu um caminho oposto ao liberalismo. A criação de instituições e edição de atos para promover o desenvolvimento regional, como o *Tennessee Valley Authority* (TVA resgatar as indústrias (*National Industrial Recovery Act*, NIRA); subsídio de moradia para os mais necessitados (*Home Owners Loan Corporation*, HOLC) e obras públicas (como a *Public Works Administration*, PWA) com o objetivo de gerar empregos foram alguns de seus primeiros atos como governante (HAMBY, 2015).

#### **4.3 1939-1941: Transição do Sistema Público de Inovação**

A crescente tensão internacional causada pelos movimentos agressivos da Alemanha durante os anos 1930 preocuparam os EUA: em 1936, a Alemanha remilitarizou a Renânia, ação proibida pelo Tratado de Versalhes; em 1938, ela anexou a Áustria e ocupou os Sudetos, na Tchecoslováquia; em 15 de março de 1939, ela anexou o restante da Tchecoslováquia; posteriormente, ocupou a cidade de Memel na Lituânia e exigiu o retorno de Danzig, na Polônia. Os Japoneses também faziam movimentos hostis no Pacífico, entrando em guerra com a China em 1937 (ROBERTS, 2012). Esta situação levou a uma mobilização inédita do governo e dos recursos estadunidenses.

Em 1º de setembro de 1939 eclodiu a Segunda Guerra Mundial. A invasão da Polônia por tropas alemãs foi respondida com uma declaração de guerra da França e da Inglaterra dois dias depois (ROBERTS, 2012). No início das

---

<sup>67</sup> Roosevelt foi o único presidente estadunidense a conseguir quatro mandatos presidenciais, vencendo as eleições de 1932, 1936, 1940 e 1944. Seu último mandato foi interrompido por sua morte, em abril de 1945 (HAMBY, 2015).

hostilidades, os EUA permaneceram formalmente neutros, mas era evidente que Franklin Delano Roosevelt e a maioria do público estadunidense apoiavam os aliados. A expectativa era de que a guerra transcorreria de forma parecida à Primeira Guerra Mundial: primeiramente, uma fase defensiva enquanto franceses e britânicos mobilizavam suas economias; em segundo lugar, ações para enfraquecer a economia e moral de alemães e italianos; finalmente, ofensivas para derrotar as potências do eixo (WEINBERG, 1994, p. 66).

Roosevelt estava decidido a armar os EUA e ajudar os Aliados<sup>68</sup>, pois via na vitória da Alemanha um desastre geopolítico para o país (TOOZE, 2013). A política de fornecer ajuda para os Aliados era apoiada por boa parte do público, mas a população estadunidense em geral era resistente a uma entrada direta no conflito (WEINBERG, 1994, p. 84). O presidente estadunidense conseguiu rever no Congresso algumas leis que dificultavam a venda a potências estrangeiras<sup>69</sup>. Inglaterra e França fizeram encomendas significativas de aeronaves, incentivando o setor industrial dos EUA. Roosevelt estava decidido a erguer um complexo industrial com capacidade de produzir “50.000 aviões por ano” (TOOZE, 2013, p. 455).

Para o choque do mundo inteiro, a França foi derrotada em apenas seis semanas no verão de 1940 (ROBERTS, 2012). A crescente ameaça alemã combinada com os movimentos agressivos dos japoneses no pacífico (PIKE, 2016) levaram Roosevelt a tomar três decisões imediatas: (1) construir mais navios para ter uma marinha capaz de lutar guerras simultâneas no Pacífico e no Atlântico; (2) aumentar o tamanho do exército, que era tão pequeno a ponto de ser menor do que o da Romênia (TOOZE, 2013); e (3) investir em novas armas e tecnologias para as Forças Armadas. Além da mobilização industrial, a preocupação de alguns cientistas expressivos e uma carta de ninguém menos do que Albert Einstein levariam a uma mobilização inédita dos recursos científicos dos EUA para o desenvolvimento da indústria nuclear.

---

<sup>68</sup> “Alarmado pela tentativa alemã de alterar o equilíbrio de poder na Europa, o governo de Roosevelt, apoiado por uma maioria de ambos os partidos no Congresso, tomou medidas urgentes para transformar os Estados Unidos na principal superpotência militar que até hoje continua a ser.” (TOOZE, 2013, p. 455).

<sup>69</sup> Dois marcos legislativos importantes foram a *Cash and Carry*, em 1939, e a Lei do *Lend-Lease*, de março de 1941 (TOOZE, 2013).

Os impressionantes sucessos militares dos alemães na primeira fase da Segunda Guerra Mundial não preocuparam apenas os líderes políticos. Membros expressivos da comunidade científica americana, como Leo Szilard e Eugene Wigner (ambos húngaros que fugiram da situação política instável de seu país), temiam a possibilidade de a Alemanha desenvolver explosivos nucleares de poder devastador, dando-a uma vantagem decisiva na guerra. Lembremos que a Europa era o grande centro de desenvolvimento da física nuclear no período entre os dois conflitos mundiais – e, entre os centros de pesquisa europeus, as universidades alemãs estavam entre as com maior prestígio e produção no campo da física nuclear.

Com isso em mente, os cientistas húngaros decidiram recrutar a fama de Albert Einstein para obter a atenção de Roosevelt para o perigo representado pela possibilidade da fissão nuclear (RHODES, 2012). Einstein se dispôs a escrever uma carta, mas só foi possível entregá-la ao presidente (por meio de um economista que era amigo do presidente) várias semanas mais tarde, em outubro de 1939. A resposta do presidente foi um “isso requer ação” (MAHAFFEY, 2009, p. 103, tradução livre). A resposta de Roosevelt levou à criação do Comitê do Urânio, ainda em outubro de 1939, responsável por investigar as alegações dos cientistas.

No entanto, as coisas avançaram em passo lento. Em fevereiro de 1940, Leo Szilard, Eugene Wigner, Edward Teller e Enrico Fermi<sup>70</sup> conseguiram obter US\$ 6.000,00 do Comitê do Urânio para fazer experimentos iniciais para a construção de um reator. O dinheiro foi utilizado para comprar grafite<sup>71</sup> a fim de medir a taxa de absorção de nêutrons e verificar se o material seria útil como moderador para um reator nuclear (MAHAFFEY, 2009). O valor foi concedido de acordo com o pedido de Edward Teller e trata-se, obviamente, de um valor extremamente baixo para uma iniciativa que resultaria na construção dos primeiros reatores nucleares da história. Os cientistas colegas de Teller ficaram

---

<sup>70</sup> Cientista italiano vencedor de Prêmio Nobel que fugiu para os EUA devido à perseguição contra judeus na Itália. Embora Enrico não fosse judeu, sua esposa, Laura Fermi, era (RHODES, 2012).

<sup>71</sup> O grafite tinha que ser de elevada pureza. Traços de boro, presentes no grafite vendido comercialmente absorviam nêutrons excessivamente e tornavam o material inutilizável em um reator (RHODES, 2012).

revoltados com o valor que ele solicitou. Enrico Fermi, exasperado, disse: “seu idiota. Você deveria ter pedido US\$ 33,000!” (MAHAFFEY, 2009, p. 104, tradução livre). Tanto Teller quanto Fermi pediram muito pouco: dentro de poucos anos, o governo estaria investindo centenas de milhões de dólares para construir uma bomba atômica.

Além do Comitê do Urânio, foram estabelecidas duas organizações para coordenar o esforço científico dos EUA: o *National Defense Research Committee* (NDRC) e o *Office of Scientific Research and Development* (OSRD) (HARTCUP, 2000). O NDRC foi formado em setembro de 1940 e tinha a tarefa de “apoiar a pesquisa científica nos mecanismos e dispositivos de guerra, exceto aqueles relacionados com problemas de voo incluídos no campo da *National Advisory Committee for Aeronautics*” (BUSH, 1940, p. 284, tradução livre). O NDRC foi composto da seguinte forma:

J. B. Conant, então presidente de Harvard, [foi nomeado] presidente do NDRC e responsável por bombas e guerra química, áreas com as quais ele obteve experiência em 1917; Karl Compton do MIT ficou responsável pelo radar; Frank Jewett, presidente dos laboratórios da Bell, supervisionava as comunicações. No verão de 1941, com os EUA ainda para se tornar uma nação beligerante, jovens cientistas foram recrutados das universidades e já estavam trabalhando no rádio, radar e vários tipos de armas. (HARTCUP, 2000, pp. 8-9, tradução livre)

É importante notar a presença de indivíduos que ocupavam cargos de relevância em universidades privadas de peso, como Harvard e o MIT. A presença de figuras oriundas de laboratórios industriais ligados a empresas privadas, como a Bell, também é bastante sugestiva da relação que seria estabelecida entre governo e setor privado durante a Segunda Guerra Mundial. O redirecionamento de capital humano dessas instituições indica como o setor privado se alinhou com o governo para atender às demandas relacionadas com a guerra.

O NDRC estava autorizado a utilizar qualquer instalação ou laboratório governamental. Além disso, no cumprimento de suas funções, ele também podia transferir recursos para fundações, organizações industriais e indivíduos (STEWART, 1948). Preocupado com possíveis conflitos entre o NDRC e as organizações diretamente pertencentes às forças armadas, Roosevelt estabeleceu a limitação de que o NDRC não deveria substituir o “excelente trabalho que o Exército e a Marinha estavam realizando em seus laboratórios ou

por contrato com a indústria” (STEWART, 1948, p. 8, tradução livre). Embora o NDRC e os militares devessem se apoiar mutuamente, havia projetos da primeira que os militares tinham pouco entusiasmo em apoiar e vice-versa (STEWART, 1948). Havia, portanto, agências civis e militares trabalhando para coordenar o esforço de P&D relativos à segurança nacional.

Ao longo do ano de 1940, foram realizados mais alguns investimentos em experimentos de medição de variáveis para estabelecer a possibilidade de explosivos nucleares. O Departamento de Guerra e o Departamento da Marinha investiram US\$ 100.000,00 em pesquisas de acordo com o aconselhamento do Comitê do Urânio; já o recém-criado NDRC aplicou mais US\$ 40.000,00 para pesquisas de medição de constantes físicas para verificar a viabilidade da energia nuclear (HEWLETT & ANDERSON, 1962). Investimentos mais vultosos teriam que esperar a progressiva mobilização<sup>72</sup> dos EUA e a formação de instituições públicas coordenadoras de P&D.

Um ano depois do estabelecimento do NDRC, foi criado o OSRD, em junho de 1941 (STEWART, 1948). Encabeçado por Vannevar Bush, o OSRD surgiu a partir de uma lacuna importante na atuação do NDRC:

Estava se tornando cada vez mais aparente que, para a pesquisa financiada pelo NDRC atingir máxima efetividade, era essencial que o grupo de pesquisa executasse seus projetos através da fase intermediária representada pela engenharia e desenvolvimento [...] em segundo lugar, existiam poucos mecanismos para a correlação entre a pesquisa feita pelo NDRC com aquela feita diretamente pelos Serviços [forças armadas] ou pela National Advisory Committee for Aeronautics [...] o OSRD ajudou a preencher uma necessidade provendo um lugar onde [...]os programas de pesquisa do Exército, Marinha, NDRC e NACA podiam discutir os seus programas e suas relações. (STEWART, 1948, p. 35, tradução livre)

O OSRD acabou se tornando uma organização guarda-chuva na área do desenvolvimento tecnológico, assumindo posição superior ao NDRC, cuidando da engenharia e de parte da pesquisa nuclear.

O papel de Vannevar Bush foi importante não apenas por suas habilidades organizacionais, mas também pelo seu tato político. A ideia era

---

<sup>72</sup> Mobilizar é o ato de canalizar os recursos de um país para as necessidades da guerra. Alexander Field (2022) descreve mobilização como “o período durante o qual uma economia transita de um estado de paz para um ponto onde ela devota o máximo esforço para produzir bens militares” (p. 6, tradução livre).

mobilizar o aparato de inovação e flexibilidade do setor privado para o esforço de guerra. A crise nacional criada pela eclosão da Segunda Guerra Mundial possibilitou a imposição de controles e intervenção governamental jamais vistos, no entanto, ao invés de dirigismo estatal, foi procurada a colaboração e integração com o setor privado. O setor privado foi direcionado, mas não comandado, pelo governo:

Ele [Vannevar Bush] criou uma agência que centralizou a administração, mas que ainda respeita os recursos difusos e descentralizados desenvolvidos desde a Primeira Guerra Mundial. Dentro deste novo paradigma organizacional, a decisão tática de Bush de **fazer do contrato o seu meio de controle foi crucial**. (OWENS, 1994, pp. 520-521, tradução livre, destaque nosso)

O chefe do OSRD, ao refletir sobre a diferença entre subvenções (*grant*) e contratos (*contracts*), afirmou que “o primeiro implica paternalismo, e com isso controle. Contratos são feitos somente entre entidades independentes ou indivíduos. Contratos carregam responsabilidade, mas não subserviência” (OWEN, 1994, p. 525, tradução livre). O comentário é bastante sugestivo no sentido de reforçar a autonomia do setor privado e criticar políticas de coordenação tidas como excessivamente centralizadoras; mas, ao mesmo tempo, havia o entendimento tácito que as empresas colaborariam com o governo durante a situação de crise nacional representada pela Segunda Guerra Mundial.

Foi o próprio Bush que, em dezembro de 1941, analisando um relatório britânico<sup>73</sup> sobre a possibilidade de explosivos nucleares, decidiu estabelecer o Projeto S-1, sob a autoridade do OSRD. O S-1 absorveu o Comitê do Urânio e tinha o objetivo de acelerar o desenvolvimento de explosivos nucleares. Para comandar tal projeto, foi escolhido Arthur Compton, físico estadunidense que ganhou o Prêmio Nobel em 1927 (MAHAFFEY, 2009).

É preciso lembrar que, por mais que Roosevelt quisesse preparar os EUA para a guerra, havia resistência popular pela entrada no conflito. Havia menos entusiasmo ainda pelos sacrifícios que a mobilização exigiria, como o

---

<sup>73</sup> Trata-se de um relatório do chamado MAUD *Committee* que levantava a possibilidade de produzir as quantidades necessárias de U-235 com um investimento de cerca de 5.000.000 de libras (RHODES, 2012).

racionamento de produtos: os gestores do governo enfrentaram considerável resistência para implementar um corte de 20% na produção de veículos em agosto de 1941, por exemplo (FIELD, 2022).

A resistência à mobilização foi varrida com a entrada oficial dos EUA na Segunda Guerra Mundial, após um ataque japonês a Pearl Harbour, no Havaí, na manhã de 7 de dezembro de 1941. O ataque matou mais de duas mil pessoas e inflamou o povo e governo dos EUA<sup>74</sup> (ROBERTS, 2012). A mobilização significou transformar uma economia que era voltada, essencialmente, para o setor civil, em uma economia voltada a produzir todos os bens militares necessários para vencer o maior conflito que o mundo já viu. A produção de veículos civis, por exemplo, foi parada em 1942: a maior indústria automobilística do mundo foi inteiramente voltada para os militares entre 1942 e 1945 (FIELD, 2022).

A organização e coordenação dos recursos materiais foi complicada pelo fato de que nunca existiu “um único sistema para garantir a efetiva administração da pesquisa, desenvolvimento e produção durante a guerra” (MAGOLIN, 2013, p. 14, tradução livre). O que existia eram organizações governamentais independentes responsáveis por coordenar alguns aspectos de interesse na indústria e pesquisa, como a já citada *National Advisory Committee for Aeronautics*<sup>75</sup>, da época da Primeira Guerra Mundial. Apesar disso, “o sucesso foi alcançado através de uma combinação de subsistemas, assim como uma rede de contatos que envolvia oficiais militares e civis, cientistas, engenheiros e designers” (MAGOLIN, 2013, pp. 14-15, tradução livre).

Com o início do conflito, a Marinha e o Exército<sup>76</sup> se reorganizaram para atender as demandas da guerra. A Marinha estabeleceu três organizações principais encarregadas da produção de material militar: o *Bureau of Ships*

---

<sup>74</sup> “A entrada dos EUA [America] na guerra galvanizou o projeto [...]” (REED, 2019, p. 147, tradução livre).

<sup>75</sup> No início da Segunda Guerra Mundial o presidente da *National Advisory Committee for Aeronautics* era ninguém menos do que Vannevar Bush, reitor do MIT e administrador excepcional que participou da formação do OSRD e NDRC, organizações que serão discutidas logo mais (HARTCUP, 2000).

<sup>76</sup> O embrião do que mais tarde se tornaria a Força Aérea (USAF, *United States Air Force*) ainda era pertencente ao exército, recebendo o nome de Força Aérea do Exército (USAAF, *United States Army Air Force*) (ROBERTS, 2012).

(navios), o *Bureau of Aeronautics* (aeronaves), e o *Bureau of Ordnance* (munição e explosivos) (MAGOLIN, 2013). Já no *War Department*, que abrigava o Exército,

O desenvolvimento de armas para a guerra terrestre a aérea foi dividida entre as *Army Ground Forces* [forças terrestres do Exército] e a *Army Air Forces* [forças aéreas do Exército], enquanto as *Service Forces* eram responsáveis pelo complexo trabalho de garantir a produção e entrega das armas. Dentro das *Service Forces*, o *Ordnance Department* e o *Quartermaster Corps* eram primariamente responsáveis pela aquisição. Em abril de 1941, o *Ordnance Department* criou 25 comitês de aconselhamento que incluíam engenheiros, industriais e pessoal militar para analisar todos os aspectos da demanda, incluindo design, especificações, produção e materiais das novas armas. (MAGOLIN, 2013, p. 16, tradução livre, destaque nosso)

A mobilização ocorreu a partir de um processo de integração do setor público com o setor privado: as armas eram produzidas por empresas como a *Springfield*, a *General Motors* e a *Boeing*, mas os pré-requisitos operacionais (e a garantia da demanda) dos novos sistemas de armas eram determinados pelas forças armadas.

Uma outra organização muito importante no esforço de guerra foi a *War Production Board* (WPB),

[...] responsável por supervisionar a conversão para uma economia de tempo de guerra, possibilitando que indústrias atendessem as necessidades de tempo de guerra, **alocando matérias escassas para a produção bélica e proibindo a produção de bens não-essenciais**. (MAGOLIN, 2013, p. 17, tradução livre, destaque nosso)

Percebe-se que dificilmente alguma atividade econômica de vulto poderia ocorrer sem a anuência do governo estadunidense neste período. Conseguir matérias-primas escassas e mão-de-obra especializada se tornaram grandes dificuldades para as companhias não essenciais para o esforço de guerra. O setor privado foi coordenado<sup>77</sup> para combater e vencer o eixo: veículos pararam de ser fabricados, matérias-primas críticas foram administradas pela WPB e foi adotado até o racionamento de alimentos<sup>78</sup>. O controle governamental foi

---

<sup>77</sup> Tal coordenação se revelou importante para o posicionamento da indústria estadunidense no pós-guerra: "A Segunda Guerra Mundial provocou um salto maciço nos esforços de pesquisa e produção, patrocinados pelo governo dos Estados Unidos... o que promoveu a acumulação de vastas capacidades de busca nas empresas americanas e sua entrada no núcleo oligopolístico internacional" (MAZZUCATTO, 2006, p. 2, tradução livre).

<sup>78</sup> Embora os EUA fossem uma sociedade bastante rica e, portanto, não teve que adotar racionamentos draconianos na área da alimentação, havia algumas restrições: o governo fazia

bastante amplo, envolvendo, além dos racionamentos já citados, até o controle de velocidade máxima dos veículos (FIELD, 2022). Os recursos poupados em setores considerados não-essenciais foram reinvestidos em produção militar e científica<sup>79</sup> para vencer a Segunda Guerra Mundial. O pagamento de tais gastos foi realizado por meio da emissão de títulos da dívida pública e aumento de alguns impostos, como o imposto de renda (TOOZE, 2013).

O *boom* de produção não se resumia a milhares de aviões e tanques: além das armas tradicionais, para as quais havia métodos estabelecidos de produção, o governo dos EUA financiou pesadamente a infraestrutura necessária para produzir as bombas atômicas. O governo e os militares utilizaram seus instrumentos de mobilização econômica para tirar os explosivos atômicos do papel e realizar uma revolução tecnológica.

O NDRC e o OSRD, em parceria com as Forças Armadas, foram as instituições que cuidaram do desenvolvimento da P&D na área nuclear nos EUA durante a Segunda Guerra Mundial. A Marinha focou em pesquisas para a construção de um reator nuclear para utilização em submarinos, enquanto o Exército focava na produção de explosivos nucleares (HEWLETT & ANDERSON, 1962). O esforço do NDRC, OSRD e Exército que visava construir explosivos atômicos com poder devastador foi nomeado de Projeto Manhattan, estabelecido em 1942. O investimento na pesquisa nuclear se intensificou muito após a entrada dos EUA na Segunda Guerra Mundial.

#### **4.4 1942-1945: O Novo Sistema Público de Inovação**

Em 1942, os recursos aplicados pelo NDRC em pesquisa básica já tinham gerado frutos suficientes para que o Projeto S-1 passasse para a fase de desenvolvimento. A partir deste ponto, o NDRC se envolveria com o S-1 apenas indiretamente, fazendo recomendações de pesquisas. O OSRD assumiu as

---

campanha para que as pessoas deixassem de consumir carne uma vez por semana, por exemplo. Uma das formas de atrair trabalhadores para *Hanford* (local do primeiro reator nuclear em grande escala), por exemplo, foi suspender o racionamento de carne na cidade (RHODES, 2012).

<sup>79</sup> Há sempre dois lados da moeda: enquanto o P&D militar disparou, o “foco na produção militar encerrou o aprendizado e o R&D no setor civil por pelo menos trinta meses” (FIELDS, 2022, p. 16, tradução livre).

rédeas. Um primeiro rascunho de cronograma para o desenvolvimento da bomba nuclear foi estabelecido:

Conhecimento das condições para uma reação em cadeia até 1º de junho, 1942.

Produção da reação em cadeia até 1º de outubro, 1942.

Planta piloto para usar a reação em cadeia para produção de cobre [código utilizado para se referir a plutônio].

Cobre em quantidade usáveis até 31 de dezembro de 1944. (RHODES, 2012, p. 381, tradução livre)

Arthur Compton estimou que só os estudos de viabilidade para um reator para produzir plutônio custaram US\$ 590.000,00 em materiais e US\$ 618.000,00 em salários e apoio (RHODES, 2012). A primeira via para a bomba nuclear, por meio da construção de uma usina de enriquecimento de U-235, custaria cerca de US\$ 20.000.000,00 por uma instalação capaz de produzir material para uma bomba por mês. Como veremos, mesmo estas estimativas significativas (lembramos que estamos falando de valores de 1940) seriam tímidas perto dos investimentos totais gastos até o fim da guerra.

A construção de uma usina de enriquecimento de urânio apresentou um dilema: o processo poderia ser realizado de diversas formas, mas era impossível prever qual método seria mais eficiente antes de desenvolvê-los em escala industrial. Os EUA tinham duas opções: apostar em um método que parecia mais promissor (difusão gasosa); ou investir em vários métodos simultaneamente. Investir em diversos métodos seria oneroso, pois levaria a inevitáveis desperdícios; no entanto, na situação de emergência em que se encontrava, o governo decidiu pelo desenvolvimento simultâneo de todas as possibilidades, pois a percepção era que o ganho de tempo compensaria a ineficiência financeira (RHODES, 2012). Quão ineficiente? Os custos dessa abordagem ampla foram estimados em 500 milhões de dólares<sup>80</sup>.

A segunda via para a bomba, por meio da construção de reatores para transmutar urânio em plutônio, foi ainda mais onerosa. Tratava-se de uma

---

<sup>80</sup> A quantia é citada em Reed, 2019. O custo não era apenas financeiro: o projeto consumia quantidades enormes de energia elétrica. Até o fim de 1943, foi necessário reservar 150.000 kW para operar reatores e os métodos de separação (REED, 2019).

tecnologia totalmente nova, ao contrário das usinas de enriquecimento, cujo funcionamento podia ser razoavelmente previsto com base nos conhecimentos de engenharia já estabelecidos. Além disso, foi necessário construir enormes instalações para a manipulação de substâncias radioativas à distância (RHODES, 2012). Só o reator em Hanford custou US\$ 300.000.000,00 em valores da época.

Um problema a ser superado era como produzir as enormes quantidades de materiais estratégicos necessários para o projeto, como urânio metálico, hexafluoreto de urânio e grafite. O grafite podia ser produzido em qualidade e quantidades adequadas por empresas como a *Speer Carbon Company*; no entanto, as vastas quantidades de urânio metálico e hexafluoreto de urânio necessários exigiram a introdução de novos métodos (REED, 2019). Novos processos para a produção desses materiais foram desenvolvidos por pesquisadores na *Iowa State College* e no *National Bureau of Standards* (HEWLETT & ANDERSON, 1962). A produção em escala foi resolvida por um esforço conjunto da *Malinckrodt Chemical Company*, a *Harshaw Chemical Company*, a *Westinghouse* e a *Metal Hydrides*, que conseguiram produzir toneladas de urânio metálico e hexafluoreto de urânio (HEWLETT & ANDERSON, 1962).

As verbas para o projeto estavam crescendo significativamente: US\$ 6.000,00 gastos com os experimentos de Fermi e Szilard, em 1940, e US\$ 1,2 milhões liberados para pagar contratos com doze instituições diferentes somente nos seis primeiros meses de 1942. Quase metade desse valor foi utilizado para comprar “liga de urânio, grafite e berílio”<sup>81</sup> (REED, 2019, p. 148, tradução livre).

Em junho de 1942 foi decidido que todos os recursos financeiros para o projeto seriam administrados pelo chefe do *Army Corps of Engineers* (CE), organização vinculada ao *War Department*. A partir de maio de 1943, todos os contratos realizados com o OSRD foram transferidos para o *Manhattan Engineer District* (REED, 2019). O controle passou do OSRD para o Exército. Essa

---

<sup>81</sup> O berílio tinha potencial como substância moderadora, mas decidiu-se pelo uso do grafite. O berílio acabou sendo utilizado como refletor de nêutrons na bomba, diminuindo a massa de urânio necessária para construir um explosivo (REED, 2019).

transferência de responsabilidade para os militares foi feita porque “O CE era a única agência no governo federal, com a possível exceção da *Tennessee Valley Authority*, que tinha experiência suficiente em construção de larga escala para assumir o projeto” (RUTTAN, 2006, p. 73, tradução livre). Uma vez que o Projeto Manhattan exigiu a construção de cidades inteiras, a experiência foi essencial.

O CE dividia os EUA em diversos distritos de engenharia militar (*Engineer District*), responsáveis por administrar os projetos regionalmente. Cada distrito era comandado por um *Division Engineer*, que comandavam cada uma das onze divisões geográficas dos EUA (REED, 2019). O Projeto Manhattan foi administrado por um desses distritos militares – o *Manhattan Engineer District* (MED). O nome Manhattan se refere à localidade da cidade de Nova Iorque onde ficava a sede administrativa do distrito. O MED tinha uma especificidade: enquanto os outros distritos possuíam limitações geográficas bem definidas, o MED possuía instalações espalhadas por todo o país, como indica a figura 1. Para comandar o MED, foi escolhido Leslie Richard Groves, militar formado na academia militar de West Point e com bastante experiência em projetos de engenharia - ele participou da construção do Pentágono, por exemplo (REED, 2019).

Apesar de alguns pequenos conflitos entre as agências civis e as forças armadas<sup>82</sup>, o OSRD e os militares conseguiram estabelecer uma relação funcional durante o conflito (STEWART, 1948). No entanto, foi necessário superar alguns problemas entre os cientistas e os militares do MED. Os cientistas não gostavam da excessiva compartimentalização e falta de liberdade, e resistiram à sugestão do exército de militarizá-los (RHODES, 2012); como consequência, a resistência aos métodos de compartimentalização e segurança dos militares foi uma constante. A compartimentalização era vista como um meio ineficiente e antinatural para cientistas acostumados a debater abertamente suas pesquisas (HEWLETT & ANDERSON, 1962), e inevitavelmente causou atrasos e perda de eficiência. O problema foi mais grave em Los Alamos, mas foi mantido sob controle com algumas concessões aos cientistas e com as habilidades

---

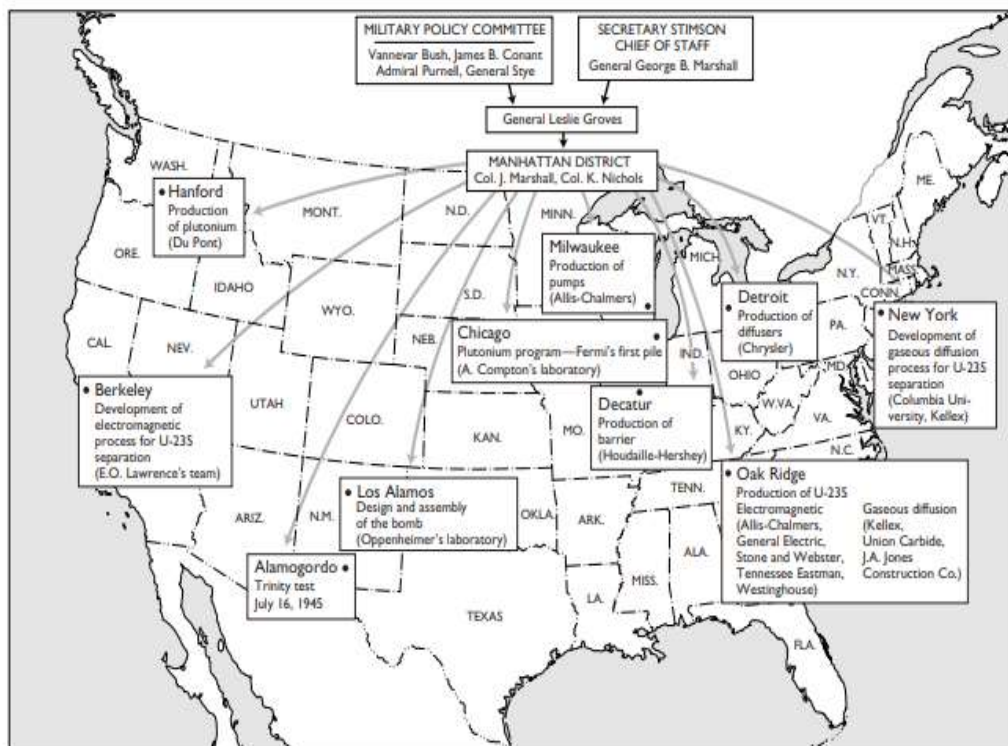
<sup>82</sup> Vernon Ruttan (2006) cita o conflito como uma necessidade de “esclarecer” (p. 73, tradução livre) as funções do Exército e do OSRD.

diplomáticas do diretor do laboratório, o famoso Julius Robert Oppenheimer – o “pai” da bomba atômica (BIRD & SHERWIN, 2005).

A divisão de responsabilidades de pesquisa dentro do Projeto Manhattan foi estabelecida da seguinte forma:

A pesquisa sobre difusão gasosa foi inicialmente conduzida na Universidade de Colúmbia; a pesquisa sobre o processo de separação eletromagnética, no Laboratório de Radiação da Universidade da Califórnia. A construção de instalações de desenvolvimento e produção foram construídas em Oak Ridge, para enriquecimento de urânio e em Hanford para produção de plutônio. A instalação de Los Alamos [...] foi dada a responsabilidade para o design e produção das bombas de urânio e plutônio. (RUTTAN, 2006, p. 73, tradução livre)

**Figura 1: Localização das Instalações do Projeto Manhattan**



Fonte: Ruttan (2006)

Para construir parte da infraestrutura necessária, foi contratada uma construtora chamada *Stone & Webster*, sediada em Boston. A companhia ficou responsável pela “construção de casas, engenharia e construção da usina de centrifugação e, se eles concordassem com a ideia, começar a trabalhar em uma usina de separação eletromagnética” (REED, 2019, p. 158, tradução livre). Outras empresas envolvidas com o enriquecimento de urânio foram a *E. B. Badger and Sons*, que participou da construção de uma usina para produção de

água pesada na Colúmbia Britânica; e a *M. W. Kellogg Company*, responsável pela construção de uma usina de enriquecimento de urânio usando a difusão gasosa<sup>83</sup>. Algumas empresas se desdobraram para atender à demanda do governo: A *Kellog* criou uma subsidiária, a *Kellex*, para produzir as barreiras da usina de difusão<sup>84</sup>, por exemplo.

Os reatores nucleares para produção de plutônio foram construídos pela *Du Pont*, que demandou a criação de um fundo no valor de US\$ 20.000.000,00 para possíveis futuras reclamações de funcionários em relação a doenças causadas por radiação. A companhia alegou que não tinha interesse algum em produzir plutônio no pós-guerra e “insistiu em entregar quaisquer patentes para o governo, abriu mão de quaisquer lucros e aceitou apenas o pagamento das despesas mais um valor fixo de US\$ 1,00”<sup>85</sup> (REED, 2019, p. 167, tradução livre).

A instalação da infraestrutura também exigiu a aquisição de extensões bastante consideráveis de terra. Para se ter uma ideia, só as instalações no Tennessee (Oak Ridge) ocuparam uma área de 83.000 acres e custaram US\$ 4,25 milhões (REED, 2019); o famoso laboratório de Los Alamos (Local Y), também de tamanho significativo, forçou o fechamento de uma escola e custou US\$ 440.000,00 (RHODES, 2012). As enormes extensões de terra seriam utilizadas para isolar as instalações, protegendo as populações de potenciais acidentes e facilitando o trabalho de segurança nas instalações; mas elas causaram diversos litígios legais com as populações locais, principalmente em Hanford, pois o reator ocupou áreas de interesse para agricultores locais (HEWLETT & ANDERSON, 1962).

Em valores financeiros, foi estimado que custaria US\$ 66.000.000,00 (valores da época) para que a *Stone & Webster* construísse as usinas de enriquecimento de urânio e a infraestrutura no Tennessee. Os custos da *Du Pont* com o reator nuclear de Hanford, no Estado de Washington, também chegaram às dezenas de milhões de dólares. Com todas essas despesas, os custos do Projeto Manhattan, que eram bastante modestos no início, alcançaram valores

---

<sup>83</sup> HEWLETT & ANDERSON, 1962

<sup>84</sup> HEWLETT & ANDERSON, 1962

<sup>85</sup> Devido aspectos legais relacionados ao contrato, a *Du Pont* acabou recebendo apenas 68 cents (REED, 2019).

bastante respeitáveis em 1942. A tabela 1 e a figura 2 mostram os custos mensais com o projeto de 1942 até 1946.

**Tabela 1: Gastos Mensais do Manhattan Engineer District 1942-1946  
(US\$x1000, valores da época)**

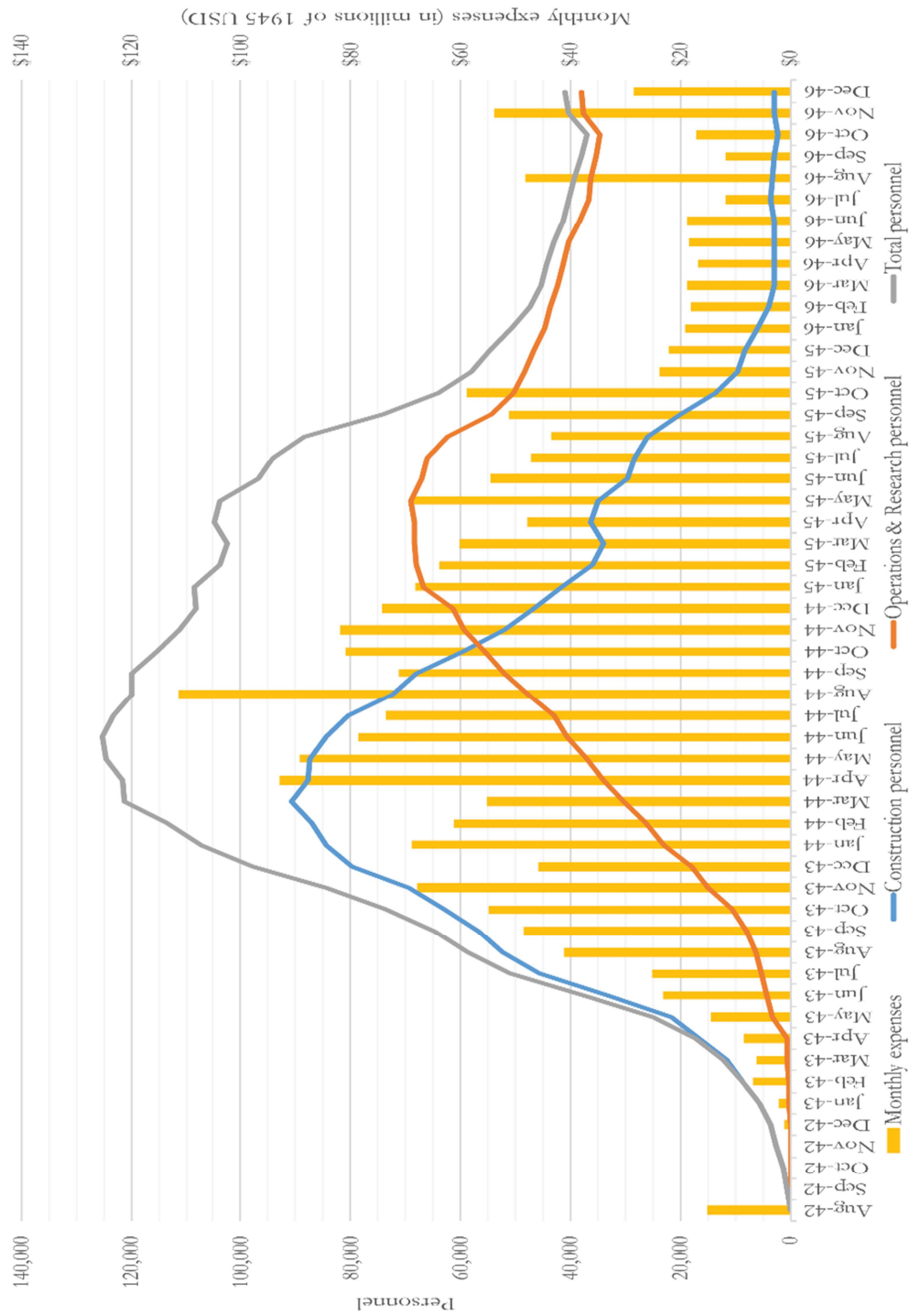
	1942	1943	1944	1945	1946
Janeiro		2.010	68.984	68.276	19.073
Fevereiro		6.829	61.336	63.987	18.136
Março		6.036	55.269	60.156	18.622
Abril		8.533	93.041	47.776	16.846
Mai		14.395	89.283	69.099	18.282
Junho		23.173	78.459	54.584	18.664
Julho		25.114	73.539	47.164	11.742
Agosto	15.000 <sup>86</sup>	41.286	111.391	43.414	48.152
Setembro	24	48.344	71.301	51.219	11.791
Outubro	67	54.973	80.779	58.819	17.166
Novembro	138	68.005	81.832	23.885	54.006
Dezembro	893	45.889	74.181	21.932	28.563
<b>Totais anuais</b>	<b>16.122</b>	<b>344.587</b>	<b>939.395</b>	<b>610.311</b>	<b>281.043</b>
<b>Total</b>	<b>268.011</b>	<b>5.397.266</b>	<b>14.462.925</b>	<b>9.187.561</b>	<b>3.905.345</b>
<b>Atualizado (milhões de US\$-2021)<sup>87</sup></b>					

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de Hewlett & Anderson, 1962, p. 724.

<sup>86</sup> "Transferido ao OSRD" (Hewlett & Anderson, 1962, p. 724, tradução livre).

<sup>87</sup> De acordo com o *Consumer Price Index* (CPI). Dados acessados no site <[www.in2013dollars.com](http://www.in2013dollars.com)>. Acesso em 05 de mai. 2023.

**Figura 2: Custos mensais do Manhattan Engineer District 1942-1946**



Fonte: Carnegie Mellon University. Disponível em: <ethos.lps.library.cmu.edu>

O primeiro reator experimental foi construído por Enrico Fermi<sup>88</sup> na Universidade de Chicago e entrou em operação em 2 de dezembro de 1942. O sucesso foi comemorado não somente pelo seu significado científico, mas pelo fato de não ter ocorrido nenhum desastre: a haste reserva de segurança para evitar que o reator saísse do controle teria que ser acionada cortando-se uma corda com um machado (RHODES, 2012). Após a confirmação de Fermi da possibilidade prática da construção de um reator experimental, o primeiro reator-piloto do mundo foi construído em apenas seis meses (abril de 1943 até outubro do mesmo ano). Ele foi construído pela *Du Pont* (REED, 2019).

Em 1943 foi construído o local Y, o laboratório de Los Alamos. A localização foi escolhida pessoalmente pelo diretor do laboratório, Robert Oppenheimer e aprovada por Groves. O trabalho realizado lá era de medição de constantes importantes para a produção da bomba e construção dos artefatos em si. Como já dito anteriormente, os principais pontos da física nuclear já estavam estabelecidos o suficiente para começar o trabalho na engenharia; no entanto, vários problemas imprevistos foram descobertos e resolvidos em Los Alamos. Descobriu-se, por exemplo, que as partículas alfa do plutônio<sup>89</sup> produziam uma quantidade perigosa de nêutrons quando interagiam com impurezas no material. Isso aumentava muito o risco de uma detonação não intencional caso se utilizasse o mesmo design da bomba de urânio. A solução foi desenvolver um novo mecanismo de implosão, que necessitou de melhorias em técnicas de medição que puderam ser aplicados a outros problemas, como a utilização de raios-x para analisar a compressão de objetos (RHODES, 2012).

Com o crescente sucesso militar dos Aliados durante o ano de 1944, o temor dos alemães como fonte de incentivo para o Projeto Manhattan diminuiu. Na esteira do Dia D, tropas especiais dos EUA (Alsos) ficaram incumbidas de reunir evidências para avaliar o andamento do programa nuclear alemão. Elas

---

<sup>88</sup> A enorme contribuição de intelectuais oriundos das potências do eixo para a criação da bomba nuclear é um fato notável: Fermi construiu o primeiro reator experimental; Teller foi o primeiro a sugerir a possibilidade de uma bomba de hidrogênio; Newman contribuiu para os cálculos de implosão da bomba de plutônio.

<sup>89</sup> O Pu-240, isótopo do plutônio-239 utilizado na bomba, era responsável pela elevada emissão de nêutrons. Os dois poderiam ser utilizados para uma bomba, mas o Pu-240 inviabilizava o design utilizado na bomba de urânio (REED, 2015). Como era impossível separar os dois em um curto espaço de tempo, foi necessário alterar o mecanismo de funcionamento da bomba.

descobriram que a Alemanha nazista estava bem longe da produção de explosivos nucleares. O programa alemão focou na construção de reatores para submarinos, e ainda assim não conseguiu produzir resultados práticos (BAGGOT, 2009). Os EUA venceram a corrida nuclear com folga. O vasto esforço dos EUA tornou o país no mais avançado polo de desenvolvimento da tecnologia nuclear em todo o mundo<sup>90</sup>.

Mesmo assim, 1944 foi o ano com os maiores gastos no desenvolvimento da bomba atômica. A construção das usinas de enriquecimento de urânio e de reatores para produção de plutônio continuaram a todo o vapor. Era preciso solucionar diversos problemas técnicos, como a manipulação de substâncias extremamente radioativas (solução encontrada: manipular as substâncias à distância em instalações especiais); testar materiais para construir as barreiras nas usinas de separação por difusão gasosa (produção de barreiras especiais de níquel, material que suporta a corrosão de hexafluoreto de urânio); e mesmo materiais especiais para selar vazamentos nas instalações em Oak Ridge (invenção do Teflon pela Universidade de Colúmbia) (RHODES, 2012).

Em 1945, os EUA contavam com um enorme e avançado complexo industrial-militar, capaz de produzir as armas mais destrutivas já inventadas e com capacidade industrial e de pesquisa para inaugurar a produção energia elétrica nuclear em um futuro (esperançosamente) próximo. Mesmo com a mudança para a administração Truman, com a morte de Roosevelt (12 de abril de 1945), o ímpeto do Projeto Manhattan não diminuiu: o primeiro teste nuclear da história ocorreu em Alamogordo (Novo México), em 16 de julho de 1945, e a utilização de dois artefatos nucleares, em 6 e 9 de agosto de 1945, ocorreram nos primeiros meses da administração Truman (ROBERTS, 2012). A rendição japonesa ocorreu uma semana após a última bomba nuclear ter sido lançada.

---

<sup>90</sup> A Inglaterra, apesar de estar à frente dos EUA até 1940, não pôde se concentrar em seu programa nuclear durante a guerra: era preciso focar em tarefas mais imediatas, como mandar reforços para defender o imenso Império Britânico, proteger a ilha dos ataques aéreos alemães (o que em si só já seria uma ameaça à infraestrutura da indústria nuclear), proteger as linhas de suprimento marítimas e conduzir uma campanha de bombardeio da Alemanha (ROBERTS, 2012). Os recursos da Inglaterra simplesmente não eram suficientes para fazer tudo, ao contrário dos EUA. Outros países beligerantes, como o Japão, estavam mais atrasados ainda (RHODES, 2012).

Apesar de todos os controles e racionamentos durante a guerra, o fato é que a demanda agregada entre 1941 e 1945 aumentou consideravelmente devido aos gastos públicos<sup>91</sup>: só no Projeto Manhattan foram investidos bilhões de dólares em valores da época (tabela 2). Uma comparação com outros grandes projetos financiados pelo governo estadunidense pode ser visualizada na figura 3.

**Tabela 2: Custos totais do Manhattan Engineer Works até 31 de dezembro de 1945**

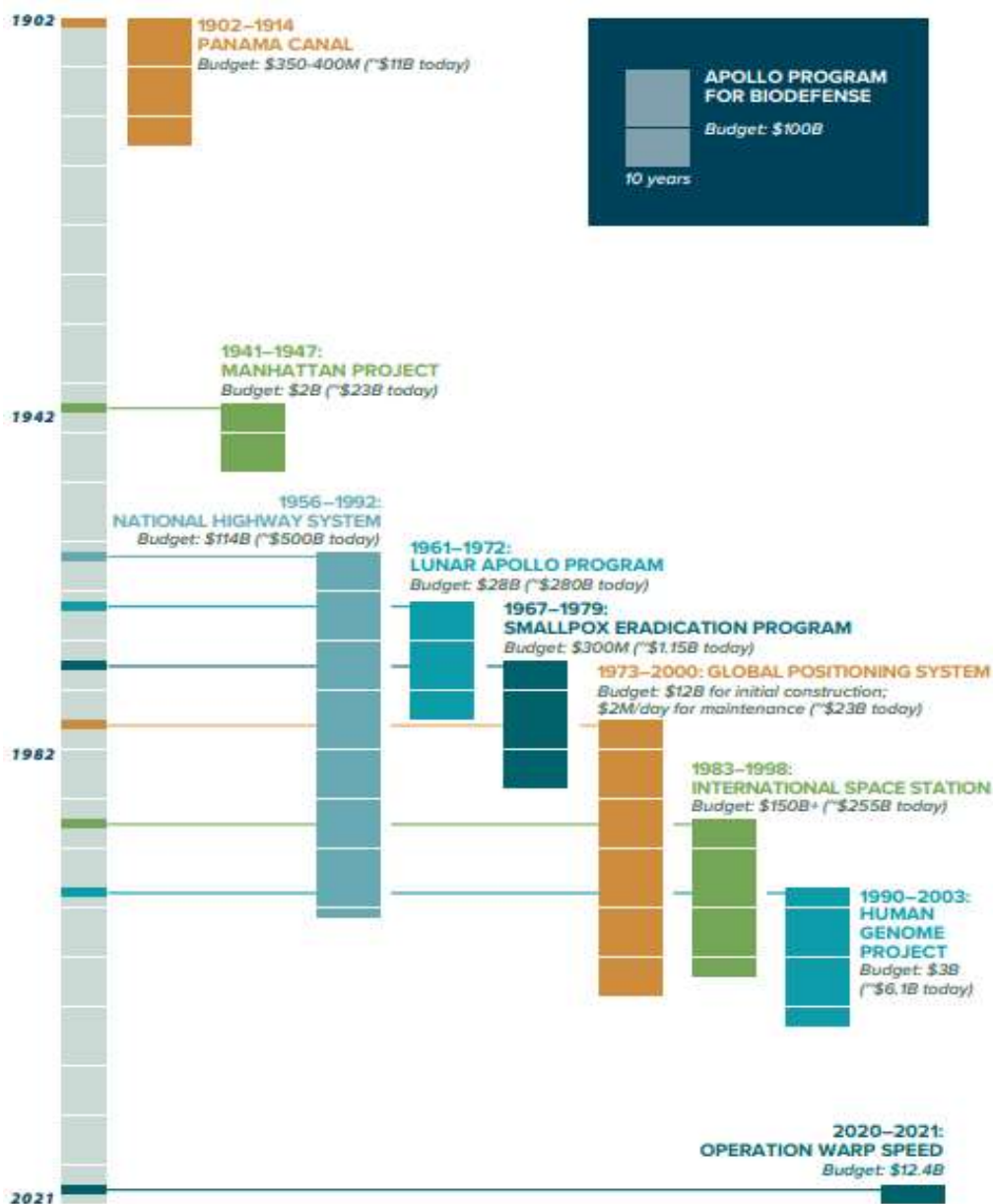
<b>Categoria</b>	<b>Custo com infraestrutura (US\$x1000-1945)</b>	<b>Custo com operações (US\$x1000-1945)</b>	<b>% do total</b>
Custos Administrativos	22.567	14.688	2
P&D	63.323	6.358	3,7
Usina Eletromagnética	300.625	177.006	25,3
Usina de Difusão a Gás	458.316	53.850	27,1
Usina de Difusão Térmica	10.605	5.067	0,8
Laboratórios em Clinton	11.939	14.993	1,4
Outras instalações em Clinton	101.193	54.758	8,3
Hanford	339.678	50.446	20,7
Usinas de Produção de Água Pesada	15.801	10.967	1,4
Los Alamos	37.176	36.879	3,9
Materiais Especiais	20.810	82.559	5,4
<b>Total</b>	<b>1.382.033</b>	<b>507.571</b>	<b>100</b>
<b>Total Atualizado (milhões de US\$-2021)<sup>92</sup></b>	<b>20.804.987</b>	<b>7.640.923</b>	<b>-</b>

Fonte: elaboração própria com base nos dados de Hewlett & Anderson, 1962, p. 723.

<sup>91</sup> Apesar de reconhecer o aumento absoluto na produção, Alexander Field (2022) aponta para uma abrupta queda de produtividade devido à transição econômica relacionada à mobilização.

<sup>92</sup> De acordo com o *Consumer Price Index* (CPI). Dados acessados no site <www.in2013dollars.com>. Acesso em 05 de mai. 2023.

Figura 3: Gastos e durações de grandes projetos nos EUA (1902- 2021)<sup>93</sup>



Fonte: Bipartisan Commission on Biodefense, 2023, p. 4.

<sup>93</sup> Há uma discrepância do valor desta figura (US\$ 23 bilhões) em relação aos valores das outras fontes (aproximadamente US\$ 28 bilhões). No entanto, os valores apresentam a mesma ordem de grandeza, o que é suficiente para comprovar o ponto essencial: somas enormes de dinheiro público foram gastas.

#### 4.5 1946-1954: Consolidação do Novo Sistema Público de Inovação

Os avanços tecnológicos alcançados nos EUA durante a Segunda Guerra Mundial e o prestígio ganhado pela comunidade científica mudaram completamente o paradigma de incentivo à inovação no país. Cientistas famosos, como J. Robert Oppenheimer, se tornaram fatores de peso na elaboração de políticas públicas. Este fato combinado com as novas armas desenvolvidas durante a guerra, levaram os secretários da guerra e da marinha a ponderarem que

Esta guerra [Segunda Guerra Mundial] enfatiza três fatos de suprema importância para a segurança nacional: (1) novas táticas poderosas de defesa e ataque foram desenvolvidas ao redor de novas armas criadas pela pesquisa científica e de engenharia; (2) o elemento tempo na competição para o desenvolvimento dessas armas e táticas pode ser decisivo; (3) a guerra está se aproximando cada vez mais da guerra total<sup>[94]</sup>, em que as forças armadas precisam ser suplementadas pela participação ativa de todos os elementos da população civil [...] os cientistas pesquisadores do país precisam ser chamados para continuar, em tempos de paz, uma porção substancial das contribuições para a segurança nacional que eles fizeram tão efetivamente na presente guerra. (BUSH, 2020, p. 15, tradução livre)

Após a Segunda Guerra Mundial, os EUA nunca mais retornaram à posição de isolamento em relação à comunidade acadêmica que existiu até antes do conflito. Na verdade, a participação do governo na produção de conhecimento só aumentou, pois o “financiamento do governo tornou a iniciativa privada mais efetiva por meio do financiamento de pesquisa básica e apoio à comercialização das invenções resultantes [...]” (GOODMAN & GERSTEL, 2020, pp. 7-8).

Para se ter uma ideia da importância do governo para a P&D desde o fim da Segunda Guerra Mundial,

---

<sup>94</sup> O termo “Guerra Total” é abordado na obra do pensador militar Carl von Clausewitz (1780-1831). Durante uma guerra total, os países mobilizam todos os recursos possíveis para aniquilar os exércitos inimigos e ocupar todo o seu território. A expressão disso durante a Segunda Guerra Mundial foi a exigência de rendição incondicional das potências do Eixo (ROBERTS, 2012). A guerra total se diferencia das guerras praticadas até o século XVIII porque nestas se procurava vitórias parciais que permitissem vantagens nas negociações de paz - procurava-se deixar o inimigo em uma posição desvantajosa, mas o extermínio de seus exércitos e ocupação de todo o território era considerado uma medida de exceção a ser procurada apenas em casos extremos (CLAUSEWITZ, 1996).

Durante quase todos os anos desde o fim da Segunda Guerra Mundial, gastos com defesa ou relacionados com ela foram responsáveis por pelo menos **dois terços de todo o gasto do governo estadunidense com pesquisa e desenvolvimento (P&D)** [...] (RUTTAN, 2006, p. 3, tradução livre, destaque nosso).

Em 1946, foi promulgado o *Atomic Energy Act* (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 1946), lei que visava regular as atividades nucleares. A legislação criou uma nova organização, a *Atomic Energy Commission* (AEC) para cuidar dos assuntos nucleares. As atribuições da nova organização eram os seguintes:

[...] a comissão [AEC] poderia financiar pesquisa privada nas ciências físicas, biológicas e sociais. Ela também poderia realizar trabalho de pesquisa e desenvolvimento [P&D] em suas próprias instalações. Além disso, **haveria um mínimo de restrições no fluxo de informações**. A Seção 9 [da lei] estabeleceu a diferença entre “informações científicas básicas” e “informações técnicas”. As “informações científicas básicas” seriam de domínio público total, enquanto a comissão [AEC] poderia escolher disseminar “informações técnicas” de forma consistente com a segurança nacional. **Alguns cientistas estavam contentes em ver que a única sanção que restringia a circulação de “informações técnicas” era o Espionage Act, que parecia aplicável apenas a segredos do governo e não às pesquisas financiadas pelo setor privado**. As provisões relacionadas às patentes também pareciam razoáveis. A comissão iria manter a posse de todas as patentes relacionadas com a produção de materiais físséis e armas, mas **as patentes relacionadas com aparelhos ou processos que utilizam energia atômica iriam estar sujeitas a licenciamento compulsório não-exclusivo. Uma mesa de royalties de patentes iria assegurar compensação adequada para o inventor individual, mas o licenciamento compulsório iria proibir o monopólio privado das patentes**. (HEWLETT & ANDERSON, 1962, p. 483, tradução livre, destaque nosso)

A autoridade sobre todas as instalações utilizadas no Projeto Manhattan foi transferida para a AEC, estabelecida em 1946. Os cientistas, infelizes com a experiência de compartimentalização e controle de informações praticada pelos militares durante a Segunda Guerra, fizeram lobby para que o controle sobre as atividades nucleares saísse das mãos das Forças Armadas (HEWLETT & ANDERSON, 1962). Após anos de controle militar (1943-1946), o desenvolvimento da energia nuclear voltou para uma agência civil.

Apesar dos sucessos significativos na área nuclear durante a Segunda Guerra Mundial e do fim das restrições materiais do tempo de guerra, a AEC enfrentava problemas técnicos na construção de reatores voltados para o setor civil. Os cientistas que trabalhavam para a AEC encontravam significativas dificuldades na construção de reatores para produção de energia, e achavam que os problemas ainda demorariam para ser solucionados (BALOGH, 1991).

Já o setor privado demonstrava pouco interesse na empreitada<sup>95</sup>. Um ponto potencialmente problemático da legislação de 1946, o licenciamento compulsório de patentes pela AEC, não se tornou um grande ponto de contenda entre os industriais<sup>96</sup>, que estavam mais preocupados com os problemas técnicos e em garantir os lucrativos contratos com o governo para o desenvolvimento da energia nuclear.

A proibição da posse e produção de materiais radioativos foi bastante questionada pelas companhias na época. As empresas alegavam que tal regra impedia o desenvolvimento privado da energia nuclear (BULLETIN OF THE ATOMIC SCIENTISTS, 1953), mas é preciso ser cético quanto a tais alegações porque o monopólio da matéria-prima pelo governo não impedia, em si, a construção ou pesquisa na área nuclear e, de qualquer forma, o controle sobre a produção e consumo de materiais radioativos é uma regra universal em todos os países até os dias atuais.

Um problema relevante enfrentado pela AEC na promoção da energia nuclear no pós-guerra foi a escassez relativa de combustível nuclear: as jazidas de urânio eram limitadas e, como dito anteriormente, o U-235 compõe apenas cerca de 0,7% do urânio natural. Foi só posteriormente que foram descobertas novas reservas e a produção se expandiu suficientemente. Uma solução proposta para o problema da falta de combustível era a construção de reatores especiais, chamados de *breeder reactors*, que, além de gerar energia, transformaram os átomos de U-238 em átomos físséis (BALOGH, 1991). Tais reatores teriam, potencialmente, a capacidade de aproveitar 100% do combustível nuclear; no entanto, apresentaram diversos problemas de engenharia, de forma que poucos países os construíram e ainda menos os operam atualmente (BRITANNICA, 2023). Posteriormente, o incentivo da AEC

---

<sup>95</sup> O setor privado demandava incentivos para construir reatores: “[...] Muitos executivos de negócios pensavam que a indústria poderia construir usinas em escala real se o governo oferecesse vantagens fiscais razoáveis e subsídios” (HEWLETT & HOLL, 1989, p. 22, tradução livre).

<sup>96</sup> Em Hewlett & Holl (1989) e Balogh (1991), fica patente que as principais preocupações do setor privado eram obter contratos e subsídios do governo para desenvolver a indústria nuclear. A questão das patentes surge com maior significância nas discussões para a reforma do *Atomic Energy Act*, em 1953. Mesmo assim, Balogh (1991) deixa claro que a ameaça do poder público assumir totalmente o setor nuclear foi um incentivo muito maior do que a questão das patentes.

para a prospecção e descoberta de novas minas de urânio aliviou o problema da escassez de matéria-prima já no início da década de 1950 (HEWLETT & HOLL, 1989).

O setor privado ficou desmotivado com as perspectivas da energia elétrica nuclear porque ainda existiam desafios técnicos significativos a serem superados. Além disso, os custos de desenvolvimento e construção seriam altos e o preço de fontes de energia tradicionais, como o petróleo e carvão<sup>97</sup>, eram muito baixos (BALOGH, 1991). Isso implica dizer que a energia nuclear provavelmente não seria economicamente competitiva, pelo menos inicialmente. Na verdade, o desenvolvimento da energia nuclear drenava recursos energéticos significativos: ainda em 1956, cerca de 12% da produção de energia dos EUA era utilizado pelo complexo nuclear (a operação de usinas de enriquecimento, por exemplo, consumia quantidades significativas de energia) (GOETZ, 2020).

A AEC tentou firmar um grande acordo com a indústria privada para a promoção da energia nuclear. No entanto, em 1946, ano em que o *Atomic Energy Act* entrou em vigor, o setor industrial estava contente com os contratos *cost-plus*<sup>98</sup> fornecidos pelo governo e, em geral, não queria desenvolver projetos próprios (BALOGH, 1991). As poucas exceções eram líderes da indústria como Charles Thomas (da Monsanto), mas mesmo estes não se comprometiam muito, até porque não tinham uma ideia clara de como atuar no novo setor e como ele afetaria a economia como um todo<sup>99</sup>. Uma proposta para a construção de um reator de duplo propósito (produção de plutônio, para bombas, e de energia), feita pela Monsanto, foi recebida com ceticismo pela AEC porque ela dependia excessivamente da demanda dos militares (HEWLETT & HOLL, 1989). A própria proposta de um reator de duplo propósito já revela o ceticismo do setor privado em relação à produção de energia elétrica para os civis.

---

<sup>97</sup> A indústria do carvão constituiu em um forte grupo de pressão *contra* a energia nuclear (BALOGH, 1991).

<sup>98</sup> Contratos em que o governo garantia os custos da empresa mais uma margem de lucro.

<sup>99</sup> “A indústria observa [...] a AEC, e pergunta friamente, ‘por exemplo, o quê?’ A indústria como um todo, que tinha a ganhar com taxas de eletricidade mais baratas, reconheceu essa possibilidade, mas estava preocupada que a rápida introdução de uma nova tecnologia pudesse perturbar a economia.” (BALOGH, 1991, pp. 64-65, tradução livre).

Um outro problema é que o campo da energia nuclear era extremamente novo e faltava mão de obra especializada no mercado. Poucas firmas de engenharia possuíam *expertise* nuclear. Na tentativa de contratar a empresa *Jackson and Moreland* para consultoria nuclear, um comitê legislativo recebeu a seguinte resposta: “Mesmo que nossas opiniões sejam sólidas, elas serão contestadas devido a essa falta de experiência.” (BALOGH, 1991, p. 68, tradução livre).

A falta de profissionais foi atacada com políticas e organizações estatais, como a *National Science Foundation* (NSF), criada em 1950. A fundação tinha como objetivo promover a pesquisa básica e atuava, principalmente, concedendo verbas e bolsas de estudo (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, 2023). A atuação da NSF certamente ajudou na expansão bastante significativa no número de físicos disponíveis: as universidades americanas formaram 275 doutores em Física em 1949 e mais de 500 em 1953 (BALOGH, 1991).

A AEC contribuiu enormemente para a P&D no campo nuclear:

Os seis laboratórios da Comissão dedicados à pesquisa física empregavam quase mil cientistas utilizando instalações que custavam 200 milhões de dólares. Mil e quinhentos cientistas trabalharam em projetos de interesse da Comissão em noventa universidades e institutos de pesquisa privados, providos de equipamentos pertencentes ao governo no valor de 4 milhões de dólares. **A preeminência dos EUA na ciência nuclear em 1952 foi quase inteiramente resultado da magnitude e efetividade do apoio da Comissão [AEC]** (HEWLETT & HOLL, 1989, pp. 8-9, tradução livre, destaque nosso).

A tabela 3 mostra os investimentos feitos até o ano de 1952. Comparando as tabelas 1, 2 e 3 percebe-se que, até 1946, houve uma queda significativa dos gastos no setor em relação a 1944; no entanto, há um novo crescimento nos anos posteriores, chegando a um auge em 1954. A diminuição dos gastos após o fim da guerra ameaçou a continuação do funcionamento da indústria nuclear estadunidense, uma vez que o MED corria o risco de perder os cientistas e especialistas que treinou e empregou durante o conflito. Felizmente para o setor nuclear, Leslie Groves conseguiu recursos suficientes para “manter a linha” da indústria nuclear (HEWLETT & ANDERSON, 1962, p. 425, tradução livre).

**Tabela 3: Gastos com o Programa de Energia nuclear entre 1947 e 1952  
(US\$x1000, valores correntes)<sup>100</sup>**

	1947	1948
Compras e Produção	167,4	141,0
Pesquisa	24,5	53,4
Construção e pesquisa de instalações	59,1	134,4
Operações e construções nas comunidades <sup>101</sup>	35,0	83,8
Administração	16,0	24,8
Fundos de seguro	23,3	0
Gastos com adiantamentos para empresas contratadas	-7,0	25,2
<b>Total</b>	<b>318,3</b>	<b>462,6</b>
<b>Total Atualizado (US\$x1000-2021)<sup>102</sup></b>	<b>3.867.700</b>	<b>5.201.300</b>
		<b>1949</b>
Material fissionável		110,6
Armas		92,4
Desenvolvimento de reatores		19,3
Pesquisa na Física		26,1
Biologia e Medicina		15,2
Operações e construções nas comunidades		95,8
Construção de usinas		255,5
Administração		25,2
Gastos com adiantamentos para empresas contratadas		-8,2
<b>Total</b>		<b>631,9</b>
<b>Total Atualizado (US\$x1000-2021)<sup>103</sup></b>		<b>7.194.400</b>

<sup>100</sup> Devido a avanços na contabilidade durante o período, os valores não devem ser tomados como dados precisos. No entanto, eles captam bem a tendência que foi seguida na época (HEWLETT & DUNCAN, 1972).

<sup>101</sup> As cidades que abrigavam as instalações nucleares durante a Segunda Guerra Mundial se tornaram comunidades fechadas. Locais como Los Alamos e Oak Ridge foram denominados de *Communities* (comunidades) (HEWLETT & DUNCAN, 1972).

<sup>102</sup> De acordo com o *Consumer Price Index* (CPI). Dados acessados no site <www.in2013dollars.com>. Acesso em 05 de jun. 2023.

<sup>103</sup> De acordo com o *Consumer Price Index* (CPI). Dados acessados no site <www.in2013dollars.com>. Acesso em 05 de jun. 2023.

	1950	1951	1952
Compra e produção de materiais nucleares	168,5	188,3	278,3
Desenvolvimento e fabricação de armas	112,0	163,6	229,2
Desenvolvimento de reatores nucleares	31,5	44,5	64,4
Pesquisa em Química, metalurgia e Física	28,9	29,8	34,7
Pesquisa em câncer, Biologia e Medicina	17,8	21,3	24,5
Operações das comunidades	19,9	17,3	16,4
Despesas administrativas	22,9	24,5	31,4
Outras despesas	13,3	5,3	5,3
Construção de instalações	256,1	459,2	1082,2
<b>Total</b>	<b>670,9</b>	<b>953,8</b>	<b>1.766,4</b>
<b>Total Atualizado</b>	<b>7.543.300</b>	<b>9.940.400</b>	<b>18.062.000</b>
<b>(US\$x1000-2021)<sup>104</sup></b>			

Fonte: elaboração própria com base nos dados de HEWLETT & DUNCAN, 1972, pp. 676-677.

A AEC também movimentava um número significativo de trabalhadores e empresas: para se ter uma ideia, em novembro de 1952, havia 137.000 funcionários trabalhando nas empresas contratadas pela AEC (HEWLETT & HOLL, 1989). A comissão trabalhou ativamente na construção de novos reatores no imediato pós-guerra: cinco novos reatores foram construídos pela AEC entre 1948 e 1955 (GOETZ, 2020). Tais reatores tinham como função principal a produção de material para os militares. O primeiro reator construído para geração de energia elétrica nos EUA só entrou em operação em 1957<sup>105</sup> (IAEA, 2023). A Tabela 4 traz algumas das principais organizações contratadas pela AEC para pesquisa e produção.

<sup>104</sup> De acordo com o *Consumer Price Index* (CPI). Dados acessados no site <www.in2013dollars.com>. Acesso em 05 de jun. 2023.

<sup>105</sup> Ver Anexo III.

**Tabela 4: Principais Organizações contratadas pela AEC para Produção e P&D**

<b>Contratada</b>	<b>Instalação</b>	<b>Trabalho</b>
<b>Produção</b>		
General Electric	Hanford, WA	Plutônio
Union Carbide and Carbon	Oak Ridge, TN; Paducah, KY	U-235
Western Electric—Bell Lab. (AT&T)	Sandia Lab., NM	Armas
Bendix Aviation	Kansas City, MO	Componentes de armas
Monsanto Chemical	Mound Lab., OH	Iniciadores de armas
E. I. du Pont de Nemours	Dana, IN	Água pesada
American Cyanamid	Reactor Testing Station, ID	Operação de instalação de processamento químico
Phillips Petroleum	Reactor Testing Station, ID	Operação de reator para testagem de materiais
Dow Chemical	Rocky Flats, CO	Componentes de armas
<b>P&amp;D</b>		
University of California	Los Alamos Scientific Laboratory, NM	Armas
University of California	Radiation Laboratory, Berkeley, CA	Pesquisa Básica
Union Carbide and Carbon	Oak Ridge National Laboratory, TN	P&D
University of Chicago	Argonne National Laboratory, IL	Desenvolvimento de Reator
Associated Universities	Brookhaven National Laboratory, NY	P&D
Westinghouse Electric	Pittsburgh, PA	Desenvolvimento de Reator
California Research and Development Co. (sub. of S.O. of CA)	Livermore, CA	Desenvolvimento de Reator
General Electric	Knolls Atomic Power Laboratory, NY	Desenvolvimento de Reator
Iowa State College	Ames Laboratory, IA	Metalurgia
University of Rochester	Rochester, NY	Biologia e Medicina

Fonte: HEWLETT & HOLL, 1989, pp. 10-11

Até o início dos anos 1950, a AEC não foi bem sucedida em atrair o setor privado para iniciativas que focassem somente na energia nuclear para fins civis. Para piorar, emergências nacionais como a Guerra da Coreia (1950-1953)

tenderam a reforçar o foco na demanda do setor militar (HEWLETT & HOLL, 1989). Para tentar mudar o estado de coisas, a AEC adotou iniciativas como o *Industrial Participation Program* (IPP), o *Industrial Reactor Studies* (IRS) e o *Office of Industrial Development* (OID) (BULLETIN OF THE ATOMIC SCIENTISTS, 1953). A IPP visava integrar as capacidades técnicas das companhias privadas e dar-lhes mais iniciativa e responsabilidade. A IRS visava incentivar as companhias a apresentar propostas para a construção de reatores para a produção de energia elétrica. Já o OID visava estabelecer um escritório para “ajudar a administração do *Industrial Participation Program* [IPP] [...] e para expandir as áreas em que todos os tipos de indústria possam achar interesse no programa nacional de energia nuclear” (BULLETIN OF THE ATOMIC SCIENTISTS, 1953, p. 136, tradução livre). No entanto, tais iniciativas não foram capazes de produzir efeitos satisfatórios imediatos.

Uma nova rodada de incentivos públicos teria de aguardar iniciativas como o programa “*Atoms for Peace*” e a mudança no Atomic Energy Act, ambos durante o primeiro mandato de Dwight D. Eisenhower (1953-1957). No meio tempo, a demanda dos militares produziu avanços em pesquisa básica e manteve o fluxo de recursos para novos reatores, o que expandia a *expertise* das companhias contratadas e a acumulação de conhecimento.

Em resumo, durante os primeiros anos de operação da AEC, houve continuidade de inovações militares enquanto o investimento em energia nuclear para uso civil era realizado pelo governo ou em contrato com ele. O setor privado se mostrou tímido no desenvolvimento de inovações e não embarcou na empreitada de tornar o poder nuclear disponível para os civis. A AEC esforçou-se para incentivar o setor privado a assumir o setor autonomamente, mas obteve pouco sucesso. Mesmo quando havia algum interesse do setor industrial, este dependia demasiadamente de investimentos públicos e da garantia de compra pelo Estado (principalmente pelos militares).

#### **4.5.1 Avanços Militares: Bombas de Hidrogênio e Reatores para Navios**

As comemorações do fim da Segunda Guerra logo se transformaram em preocupações com o novo conflito que ameaçava no horizonte: a Guerra Fria. Este conflito se caracterizou pelo antagonismo econômico e ideológico entre

URSS e EUA; a utilização de guerras por procuração<sup>106</sup>; e ameaça de utilização de armas nucleares para dissuadir um confronto direto. As crescentes tensões entre URSS e EUA caminharam junto com os debates sobre o futuro do complexo nuclear estadunidense.

As dificuldades e falta de entusiasmo demonstradas pelos cientistas e pelo setor privado se refletiram no pequeno avanço da indústria nuclear civil até o início dos anos 1950. Enquanto os civis marcavam passo, os militares continuavam os principais consumidores de energia nuclear. Após o sucesso obtido na produção das bombas nucleares, ficou claro que havia espaço para avançar em três áreas: (1) melhoria da eficiência das bombas de fissão; (2) desenvolvimento de uma bomba com base no princípio da fusão nuclear (bomba de hidrogênio); e (3) construção de reatores para a propulsão naval.

A melhoria da eficiência dos explosivos ocorreu a partir de avanços no design, como o núcleo levitado<sup>107</sup>. Já o desenvolvimento da fusão nuclear foi uma pesquisa derivada de ideias desenvolvidas durante o Projeto Manhattan<sup>108</sup>: se, em vez de “quebrar” um átomo maior (urânio ou plutônio) em dois menores, fosse possível juntar dois átomos menores (de hidrogênio) para produzir um átomo maior (hélio), seria possível gerar ainda mais energia do que na fissão – e com a vantagem de poder escalar a liberação de energia indefinidamente<sup>109</sup> (RHODES, 1995). A bomba de hidrogênio necessitou de avanços na computação e desenvolvimento de novos materiais: por um lado, os cálculos para a viabilidade e previsão do poder explosivo do dispositivo se tornaram complexos demais para serem realizados manualmente por seres humanos; por

---

<sup>106</sup> As chamadas “proxy war”. São conflitos em que os lados são armados e financiados por outros países. Durante a Guerra da Coreia (1950-1953), por exemplo, a URSS e a China ajudaram a Coreia do Norte, enquanto os EUA apoiaram militarmente a Coreia do Sul (GADDIS, 2005).

<sup>107</sup> As primeiras bombas nucleares por implosão possuíam um núcleo de plutônio envolvido por um tampão (chamado de refletor, com a função de refletir nêutrons para sustentar a reação por mais tempo). Posteriormente descobriu-se que era mais eficiente deixar um espaço entre o núcleo e o tampão, pois a energia cinética obtida por este durante a implosão comprimia mais o núcleo e permitia que a reação ocorresse por mais tempo, produzindo mais energia (GOETZ, 2009).

<sup>108</sup> O autor dessas ideias, Edward Teller, possuía ruzgas com Oppenheimer e participou do processo que retirou o pai da bomba atômica do programa nuclear estadunidense no pós-guerra (RHODES, 2012).

<sup>109</sup> Explosivos de fissão possuem um limite de potencial porque, ao reunir uma determinada massa de urânio-235 ou de plutônio, eles explodirão espontaneamente. Já a fusão nuclear não possui esta limitação (RHODES, 1995; 2012).

outro lado, foi necessário desenvolver novos materiais como a espuma de poliestireno para que o explosivo funcionasse adequadamente<sup>110</sup>. A bomba de hidrogênio foi testada com sucesso em novembro de 1952, em um teste com codinome Mike, em uma ilha no Oceano Pacífico (RHODES, 1995).

Enquanto o Exército e a Força Aérea<sup>111</sup> trabalhavam em bombas, a Marinha investiu em um programa de reatores nucleares navais. Um personagem essencial para o desenvolvimento de reatores nucleares foi o almirante Hyman G. Ryckover. Ele serviu a Marinha durante a Segunda Guerra Mundial e, após o conflito, se interessou pela energia nuclear e trabalhou para sua utilização no deslocamento de navios. Construir reatores nucleares para a Marinha exigiu superar diversos desafios significativos, como garantir a segurança da tripulação e construir um reator pequeno o suficiente para caber em uma embarcação (ALLEN & POLMAR, 2007). De particular interesse para a Marinha era a possibilidade de construir submarinos nucleares, pois os reatores permitiriam que submarinos ficassem longos períodos submersos e adquirissem autonomia quase ilimitada (seria necessário reabastecer o reator somente após *anos* de uso). Como citado anteriormente, durante a Segunda Guerra, a Marinha dos EUA financiou pesquisas para construir um reator para submarinos, mas não conseguiu desenvolver um reator naval durante o conflito.

O projeto para construção de um reator naval foi muito importante para os civis, porque desenvolveu o mesmo tipo de reator que foi posteriormente adaptado para as primeiras usinas de geração de energia, no final da década de 1950. A Westinghouse trabalhou com Ryckover para construir um reator do tipo *Pressurized-Water Reactor (PWR)*<sup>112</sup>, que “utiliza água pressurizada como o meio de transmissão de calor entre o reator e a turbina” (ALLEN & POLMAR, 2007, p. 37, tradução livre). O primeiro reator nuclear naval foi testado em uma instalação governamental perto de Arco (cidade localizada no Estado de Idaho), em 1951. Ele começou a operar em março de 1953. Já o *Nautilus*, o primeiro submarino nuclear, foi lançado ao mar em janeiro de 1954. Graças a esses

---

<sup>110</sup> O poliestireno serve para absorver os raios-x do explosivo primário e comprimir o recipiente com o combustível secundário (GOETZ, 2020).

<sup>111</sup> A Força Aérea dos EUA se tornou um ramo independente das Forças Armadas em 1947.

<sup>112</sup> Basta olhar no Anexo III a quantidade de reatores do tipo PWR.

avanços, em 1957 foi comissionado o primeiro reator nuclear com fim exclusivo para geração de energia nos EUA (IAEA, 2023).

#### **4.5.2 Avanços Cívicos: Mudanças Legislativas e Desenvolvimento Privado**

A corrida armamentista com a URSS e as guerras por procuração que envolveram os EUA a partir do início dos anos 1950 tenderam a reforçar a importância dos militares no desenvolvimento de certos aspectos da tecnologia nuclear. Apesar dos gastos em pesquisa nunca terem sido interrompidos, percebe-se que os gastos com construção e desenvolvimento, tanto de armas como de reatores, explodiram a partir do ano de 1950. O primeiro reator que seria utilizado para transformar o calor gerado pela fissão em energia elétrica foi construído nesta época: o supracitado reator experimental da Marinha (FISCHER, 1997).

O foco militar dado ao desenvolvimento da tecnologia nuclear desde a Segunda Guerra Mundial acabou afetando os EUA de duas maneiras principais: primeiramente, nas relações internacionais, a liderança dos EUA em tecnologia bélica era vista cada vez mais negativamente pelos outros países, percepção esta que a URSS fazia questão de alimentar (CHERNUS, 2002). Em segundo lugar, havia a preocupação de Eisenhower de que gastos excessivos com as forças armadas (a preocupação com o crescente poder do complexo industrial-militar) ameaçassem a democracia e a prosperidade econômica dos EUA (CHERNUS, 2002).

Os avanços soviéticos no campo representaram golpes pesados para o prestígio dos EUA. Eisenhower sentiu que era essencial que os EUA desenvolvessem reatores para produção de energia elétrica o mais rapidamente possível. Como a tentativa de interessar o setor privado não logrou muitos sucessos até o início da década de 1950, então o governo decidiu fornecer os fundos para a construção dos primeiros reatores. Com o apoio do presidente, “A Comissão de Energia Atômica [AEC]... estava disposta a autorizar até US\$ 100 milhões em 1953 para alcançar tal fim” (BALOGH, 1991, p. 106, tradução livre).

O governo estadunidense combinou incentivos econômicos e políticos com ameaças de ele próprio assumir o setor da energia nuclear. Típico desta posição é um pronunciamento feito por Lewis Strauss quando ocupou o cargo de presidente da AEC:

É política da Comissão dar à indústria a primeira oportunidade de realizar a construção de reatores nucleares. No entanto, se a indústria não iniciar, dentro de um período razoável, a construção de tipos de reatores que são considerados promissores, a Comissão tomará medidas para construir esses reatores por iniciativa própria. (MULLENBACH *apud* CLARKE, 1985, p. 481, tradução livre)

Em consonância com o foco de construção de reatores voltados para o fornecimento de energia elétrica, Eisenhower lançou o programa *Atoms for Peace*:

Eisenhower forneceu um poderoso ímpeto para a mudança que estava começando a ocorrer nas políticas nucleares americanas e do resto do mundo; a mudança de uma política de segredos e negação para uma política de abertura – transparência – e para cooperação internacional no desenvolvimento e aplicação da tecnologia nuclear para fins pacíficos, ou seja, “Atoms for Peace”. (FISCHER, 1997, p. 32, tradução livre, destaque nosso)

O *Atoms for Peace* teve duas consequências principais: a formação da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA, em inglês- e a pressão para a revisão do marco legal do *Atomic Energy Act* de 1946. Como o compartilhamento de informações nucleares sensíveis com outros países era proibido, a IAEA e o *Atoms for Peace* só podiam ser implementados com a mudança da lei. Uma nova legislação foi preparada após um discurso de Eisenhower, em 1953, quando ele anunciou oficialmente a iniciativa (FISCHER, 1997). Boa parte da mudança de rumo em relação à legislação de 1946 se devia a um motivo bastante simples: em um mundo onde a URSS (o maior adversário dos EUA na arena internacional) já dominava a tecnologia para produzir armas termonucleares, fazia pouco sentido manter o status de segredo de Estado da tecnologia nuclear, alienando países que não estavam alinhados com a URSS. A corrida agora era para o desenvolvimento da energia nuclear para fins pacíficos.

O novo *Atomic Energy Act* entrou em vigor em agosto de 1954. Os principais propósitos da nova legislação eram:

- a. [prover] um programa para conduzir, assistir e incentivar a pesquisa e desenvolvimento para encorajar o máximo de progresso científico e industrial;
- b. [prover] **um programa para a disseminação de dados científicos e técnicos não confidenciais e para o controle, disseminação e abertura de dados restritos, sujeitos às salvaguardas adequadas,** para incentivar o progresso científico e industrial;

c. **[prover] um programa para o controle governamental da posseção, uso e produção da energia atômica e de materiais nucleares especiais, sejam eles possuídos pelo governo ou por outros**, no sentido de fazer a máxima contribuição para a defesa comum, o bem-estar nacional e para prover garantia continuada à habilidade do governo de entrar ou fazer cumprir acordos com nações ou grupos de nações para o controle de materiais nucleares especiais e armas atômicas;

d. [prover] um programa para encorajar a ampla participação no desenvolvimento e utilização da energia atômica para propósitos pacíficos com a máxima extensão consistente com a defesa comum, com a saúde e segurança para o público;

e. **[prover] um programa de cooperação nuclear internacional** para promover a defesa comum, a segurança e para tornar disponível para as nações cooperantes os benefícios da aplicação pacífica da energia nuclear com a máxima amplitude possível permitida pelo avanço da tecnologia e a defesa comum;

f. [prover] um programa administrativo consistente com as políticas e programas atuais, com os acordos internacionais e com os acordos de cooperação, que permitirão ao Congresso estar informado para tomar as medidas legislativas que achar necessário. (USNRC, 1954, p. 24, tradução livre, destaques meus).

O novo ato permitiu maior liberdade de circulação de informações até então restritas (MAHAFFEY, 2011). Outra mudança importante foi o relaxamento em relação aos direitos de patente, mas com a retenção de algumas restrições, principalmente em invenções relacionadas com a produção de materiais especiais e armas nucleares. Em casos de invenções consideradas de importância fundamental pela AEC, era garantido ao governo o direito de utilização, mesmo sem a permissão do inventor (USNRC, 1954).

A Formação da IAEA foi aprovada em dezembro de 1954, um ano após o anúncio do *Atoms for Peace* e poucos meses após a entrada em vigor do novo *Atomic Energy Act* (FISCHER, 1997). A nova legislação buscou abrir mais o setor da energia nuclear e incentivar a iniciativa privada a atuar no ramo. Como as armas nucleares não eram mais monopólio dos EUA, o país tentava ganhar a vantagem na Guerra Fria melhorando sua imagem internacional e superar a URSS nos usos pacíficos da energia nuclear – competição na qual os EUA partiram em desvantagem, uma vez que a URSS operou o primeiro reator nuclear para geração de energia elétrica já em 1954<sup>113</sup>.

---

<sup>113</sup> O reator foi construído na cidade de Obninsk e entrou em operação em junho de 1954: “Finalmente, às 17:30 do dia 26 de junho de 1954, o reator produziu vapor que acionou a turbina

O *Atoms for Peace* e a revisão do *Atomic Energy Act* foram acompanhados por mais incentivos do governo à iniciativa privada: em 1957, o Congresso promulgou o *Price-Anderson Indemnity Act*, que

Determinava que o governo federal fornecesse seguro em caso de acidente nuclear e limitasse a extensão pela qual as concessionárias poderiam ser responsabilizadas em tal evento. Garantias governamentais contra responsabilidade por acidentes nucleares foram um dos últimos incentivos elaborados para impulsionar as concessionárias a investir. (CLARKE, 1985, p. 481, tradução livre)

Todos os incentivos da AEC em termos de contrato, encorajamento, proteção e ameaças de assumir o controle do setor nuclear surtiram efeitos positivos nas companhias ao longo dos anos 1950, mesmo que bastante tímidos. Da revisão do *Atomic Energy Act* até o início da década de 1960, somente dois reatores tinham sido construídos inteiramente por companhias privadas (CLARKE, 1985); no entanto, a partir daí, o ritmo de comissionamento de novos reatores se expandiu consideravelmente (ver Anexo III).

A instituição da AEC, o *Atoms for Peace* e a revisão do *Atomic Energy Act* transformaram os EUA, promovendo a disseminação da tecnologia nuclear:

O lugar da energia nuclear na economia mundial e na estratégia militar já não era mais preocupação de alguns milhares de cientistas, engenheiros e funcionários do governo vivendo em enclaves secretos isolados do resto do mundo por elaboradas barreiras de segurança. A tecnologia nuclear havia se tornado agora parte do tecido político, econômico e até social dos Estados Unidos e das nações industrializadas do Ocidente. (HEWLETT & HOLL, 1989, p. XIX, tradução livre)

Os gastos significativos realizados nos dois primeiros anos do governo Eisenhower (tabela 5), aliados a iniciativas emblemáticas como o *Atoms for Peace* e a revisão do *Atomic Energy Act* prepararam o solo para a construção do primeiro reator estadunidense voltado inteiramente à produção civil de energia nuclear, construído em 1957, em Santa Susana, Califórnia (um outro reator de maior escala foi começado a operar uma semana depois em Shippingport, Pennsylvania) (MAHAFFEY, 2011; IAEA, 2023).

---

e o gerador, colocando energia elétrica na rede da Mosenergo.” (JOSEPHSON, 2005, p. 27, tradução livre).

Houve uma onda de construção de usinas nucleares entre os anos 1960 e 1970. Segundo dados da IAEA (2023), 19 reatores foram comissionados durante os anos 1960 e impressionantes 59 novos reatores durante os anos 1970. O ritmo de expansão se manteve até que os incidentes em Three Mile Island (1979) e Chernobyl (1986) aumentaram a resistência à expansão da energia nuclear. Houve 47 novos reatores comissionados durante os anos 1980 e apenas mais 4 durante os anos 1990<sup>114</sup>. Mesmo com a diminuição no ritmo de novas construções, a indústria nuclear estadunidense está firmemente estabelecida com um complexo impressionante. Complexo este construído, em grande parte, com recursos e apoio do governo.

**Tabela 5: Gastos com P&D e Operação de Instalações Nucleares (1953-1954) – milhões de US\$, valores da época e valores atualizados**

	1953	1954
<b>Custo de Operação<sup>115</sup></b>	<b>904,7</b>	<b>1039,1</b>
Compra de matéria-prima	82,2	142,8
Produção de materiais nucleares	318,3	409,7
Desenvolvimento e fabricação de armas	257,5	250,0
<b>Desenvolvimento de Reatores Nucleares</b>	<b>104,1</b>	<b>99,3</b>
Civis	6,4	16,2
Militares	53,2	42,0
<b>Pesquisa (Física)</b>	<b>41,8</b>	<b>43,6</b>
Termonuclear	0,8	1,7
Física de alta energia	8,6	7,8
Outros	32,4	34,1
<b>Biologia e pesquisa médica</b>	<b>26,3</b>	<b>27,0</b>
<b>Operação de comunidades – despesas líquidas</b>	<b>15,2</b>	<b>11,8</b>
<b>Despesas administrativas</b>	<b>35,5</b>	<b>34,7</b>
<b>Outras despesas</b>	<b>23,8</b>	<b>20,2</b>

<sup>114</sup> Uma lista com o ano de comissionamento de cada reator pode ser vista no Anexo III).

<sup>115</sup> Inclui depreciação.

Construção de instalações e custos de equipamentos durante o ano	1.125,6	1.215,1
<b>Total</b>	<b>2.277,0</b>	<b>2.490,8</b>
<b>Total Atualizado (milhões de US\$-2021)<sup>116</sup></b>	<b>23.108,6</b>	<b>25.090,3</b>

Fonte: adaptado de Hewlett & Holl, 1989, p. 576.

## 5 ANÁLISE DA TRAJETÓRIA DA INDÚSTRIA NUCLEAR NOS EUA (1939-1954)

Como visto, a teoria básica que permitiu a construção de reatores e bombas nucleares estava essencialmente estabelecida já em meados dos anos 1930, com a descoberta do nêutron por James Chadwick e a proposição do modelo atômico de Rutherford-Bohr. Nesta época cientistas vanguardistas, como Leo Szilard, já pensavam na possibilidade de liberar a enorme energia contida nos átomos por meio de reações em cadeia. No entanto, o setor privado não realizou investimentos para desenvolver a energia nuclear. A grande mudança veio com os investimentos públicos nas décadas de 1940 e 1950. O argumento de Terence Kealey a favor da maior eficiência do setor privado no processo de inovação se vê problematizado por esta situação.

Durante os anos 1920 e 1930, as companhias estadunidenses focaram principalmente em explorar materiais radioativos comercialmente de diversas maneiras, seja para usos médicos convencionais, como tratamento de câncer, seja em usos bastante danosos, como tônicos, ponteiros de relógio, lâmpadas e maquiagens. No entanto, a empresa estadunidense mais expressiva na exploração destes minerais, a *Standard Chemical Company*, não fez nenhum movimento no sentido de promover pesquisas para o desenvolvimento de reatores nucleares para geração de energia elétrica. Sem dúvidas, a falta de incentivo do mercado (energia barata), o alto investimento necessário e o longo horizonte até os investimentos se converterem em avanços tangíveis foram fatores de peso na decisão de empresas como a SCC.

<sup>116</sup> De acordo com o *Consumer Price Index* (CPI). Dados acessados no site <[www.in2013dollars.com](http://www.in2013dollars.com)>. Acesso em 14 de ago. 2023.

Não havia nenhuma legislação limitando a pesquisa, o desenvolvimento e a patente de invenções na área da energia nuclear até o final da Segunda Guerra Mundial. Além disso, durante os anos 1920 e 1930, o setor privado produzia o grosso da inovação nos EUA, enquanto o governo se limitava a fazer investimentos pontuais na agricultura e a subsidiar o Ensino Superior. O contexto se aproximava do ideal imaginado pelos autores liberais. No entanto, nenhuma companhia se dispôs a financiar a energia nuclear, até porque o petróleo e carvão eram baratos e abundantes, enquanto os custos para o desenvolvimento da energia elétrica nuclear chegavam aos bilhões de dólares. A liberdade dada a inventores e pesquisadores nesta época permitiu a produção e comercialização de uma gama variada de produtos que utilizavam materiais radioativos; no entanto, em sua maioria, foram produtos não revolucionários que, em vários casos, causaram danos à saúde dos usuários.

O contexto mudou radicalmente com a Segunda Guerra Mundial. Havia o licenciamento compulsório de patentes (com justa remuneração) e a pesquisa na área nuclear era amplamente financiada por verbas públicas, que serviam como uma enorme rede pública de incentivo à inovação. Dada a prova cabal de que a reação em cadeia era uma possibilidade tangível e que as patentes seriam remuneradas adequadamente, o setor privado teve mais incentivos do que nunca para operar na área de energia nuclear; mesmo assim, a AEC teve que recorrer a diversas políticas de incentivo para atrair os empresários. Apesar de uma certa letargia das companhias, os esforços da AEC foram cruciais para a maior participação do setor privado na indústria nuclear, principalmente a partir da década de 1950.

A queixa das empresas sobre o controle estatal de materiais radioativos pode ser descartada como um obstáculo central, já que este controle é uma realidade universal, devido às óbvias preocupações com as possibilidades de desvio de tais materiais. O controle estatal da matéria-prima não foi impeditivo para o desenvolvimento da indústria nuclear nos EUA.

A história da indústria nuclear dos EUA mostra que às vezes é necessário que o Estado incentive a inovação, atraia parceiros receosos e integre as inovações ao restante da economia. O governo está em uma posição única para diminuir os riscos da inovação e atrair o setor privado para setores estratégicos,

assumindo riscos e prejuízos. Ele é capaz de criar as condições para que um setor floresça.

A trajetória do sistema de inovação dos EUA mostra que o governo estadunidense sempre teve um papel atuante no processo de inovação, mesmo em tempos menos intervencionistas, como no século XIX e início do século XX. O Estado subsidiava o Ensino Superior e protegia a indústria nacional já durante o século XIX. A fragilidade dos direitos sobre patentes neste período foi um fator que não impediu a chegada dos EUA à liderança industrial mundial. Tanto o protecionismo quanto a fragilidade dos direitos de patente são institutos condenados pelos autores liberais (pois implicam em intervenção do governo na economia), mas parecem ter tido efeitos positivos no desenvolvimento dos EUA.

O governo estadunidense interveio na economia durante os conflitos mundiais, e tal intervenção favoreceu o estabelecimento de uma rede de organizações que incentivava e protegia o P&D. Ao contrário do argumento dos autores liberais analisados, o investimento e intervenção públicos não espantaram o setor privado na área da energia nuclear; muito pelo contrário, eles estabeleceram o setor e atraíram uma iniciativa privada inicialmente pouco entusiasmada com a energia nuclear, basta olhar para as diversas companhias envolvidas com o Projeto Manhattan, durante a Segunda Guerra Mundial.

O desenvolvimento da indústria nuclear nos EUA ocorreu com a adoção de políticas intervencionistas e apoio estatal à iniciativa privada. Durante a Segunda Guerra Mundial, o governo estadunidense exerceu um controle inédito sobre a economia. Ele utilizou esse controle para promover a pesquisa e construir a infraestrutura da indústria nuclear estadunidense. No entanto, em nenhum momento se abriu mão da dinamicidade do setor privado, como indicaram as reflexões de Vannevar Bush. Tal combinação virtuosa fez com que, em 1945, os EUA eram a nação mais avançada do mundo no campo da energia nuclear. O governo forjou uma relação virtuosa com a indústria, potencializando forças e atenuando obstáculos no processo de inovação.

No período posterior a 1945, o Estado continuou a adotar “más instituições” e “más políticas”, como denominou Chang (2002). O *Atomic Energy Act* de 1946 restringiu os direitos de patente, algumas restrições à pesquisa e estabeleceu uma organização pública (AEC) que possuía poderes amplos sobre

o setor nuclear. Por outro lado, a lei garantiu a existência de um mercado, a remuneração justa aos inovadores e estabelecia um arcabouço institucional para o financiamento de pesquisa básica. A restrição aos direitos de patente e a limitação ao compartilhamento de informações sensíveis nunca foram identificadas como impeditivos ao engajamento com a indústria nuclear: as preocupações se concentravam em torno da novidade da tecnologia e na baixa competitividade da energia nuclear. Longe de financiar empreendimentos na área nuclear, o setor privado preferia continuar aceitando os contratos *cost-plus* com o governo estadunidense, pois havia menor risco.

As “más instituições” promoveram inovações e atraíram o setor privado. A AEC, por exemplo, teve que se utilizar de iniciativas como o IPP, o IRS e o OID para incentivar as companhias a investir em inovação em energia nuclear. O novo *Atomic Energy Act*, de 1954, manteve muitos dos dispositivos contrários às recomendações liberais, mas, juntamente com atos como o *Price-Anderson Indemnity Act*, construíram a base legal que paulatinamente atraiu e consolidou a participação privada no setor privado, promovendo uma onda de construção de reatores nucleares já no final dos anos 1950.

A expansão da inovação no setor nuclear deu um salto quando o governo tomou a iniciativa, financiando pesquisa e contratando empresas para construir a infraestrutura do Projeto Manhattan. O esforço foi feito tendo em vista obter ferramentas para superar uma enorme crise nacional – a Segunda Guerra Mundial. O objetivo do projeto não era obter ganhos imediatos em eficiência energética, mas sim construir armas e novas formas de propulsão para navios. A viabilidade comercial da energia nuclear ficou em segundo plano.

O controle econômico e racionamento impostos durante a Segunda Guerra Mundial mostram como a economia foi sacrificada em tempos de emergência para garantir objetivos políticos e/ou sociais mais importantes. O *insight* de Polanyi (2000) parece ser corroborado pelo estudo de caso: a economia, por mais importante que seja, está incrustada em um tecido social mais amplo. A justificativa para os US\$ 2 bilhões do Projeto Manhattan foi a defesa nacional.

A continuação de um senso de crise, com o início da Guerra Fria e a necessidade de competir com a URSS fez com que o governo investisse

enormes somas de dinheiro para a pesquisa e construção de reatores e ogivas no pós-guerra, mesmo sem um retorno financeiro imediato. As preocupações de Eisenhower com os gastos militares excessivos podem ser vistos sobre a óptica de levar em consideração o mercado nas decisões maiores de segurança nacional – a economia, afinal de contas, *está incrustada* no tecido social. O grosso do investimento foi feito tendo em vista os militares, mas houve *spillovers* importantíssimos para o setor civil: foram esses gastos que produziram o *know how* e a infraestrutura para a operação do primeiro reator voltado para a produção de energia elétrica, em 1957.

A construção acelerada da infraestrutura nuclear estadunidense durante a Segunda Guerra Mundial é uma história de sucesso da parceria entre iniciativa privada e governo. As Forças Armadas e organizações civis como o NDRC e o OSRD forneceram contratos e incentivos para que empresas trabalhassem com os cientistas das universidades na resolução de problemas técnicos, construção de usinas de enriquecimento de urânio e na construção de reatores nucleares. Os contratos com o governo supriam a necessidade de proteção para um setor incipiente, enquanto a engenhosidade e habilidades técnicas e administrativas das companhias transformavam as conquistas teóricas em infraestrutura tangível. No entanto, retomando a discussão de Mazzucato (2013), o setor público foi o parceiro mais ousado, puxando o setor privado para uma empreitada totalmente nova. O Estado manteve uma relação próxima do setor privado, evitando pesar demais a mão e, ao mesmo tempo, mantendo a sua independência.

A Parceria virtuosa continuou no pós-guerra, com o governo cada vez mais decidido a fazer com que a iniciativa privada engajasse com o setor nuclear. As companhias se acostumaram com a liderança do governo (por meio de organizações como a AEC). Sendo impensável arriscar uma retirada de um setor tão estratégico (ainda mais tendo em vista o início da Guerra Fria), a AEC procurou direcionar as companhias para a produção de energia elétrica para civis ao mesmo tempo que atendia a demanda dos militares. Paulatinamente, a *expertise* obtida pelas companhias sob contrato com o governo, aliada aos investimentos públicos em P&D, prepararam o campo da energia nuclear para

que as companhias se encarregassem pela construção e operação de algumas usinas já no final da década de 1950.

O desenvolvimento da indústria nuclear nos EUA revela uma falha do setor privado: ele é conservador no que se refere a investir recursos em campos inteiramente novos, que demandam muitos investimentos em pesquisa básica e muito tempo para maturação. O processo de preparação e especialização de novos especialistas em Física Nuclear dependeu do apoio governamental, com instituições como a NFS. O governo teve que realizar o grosso dos gastos com P&D no período analisado. Ao mesmo tempo, a engenhosidade e flexibilidade do setor privado, quando adequadamente apoiadas pelo Estado, foram essenciais para desenvolver o setor nuclear.

Para além dos custos de pesquisa e desenvolvimento, a AEC incentivou a integração da *expertise* nuclear nas companhias estadunidenses, promovendo as condições técnicas para o boom de construção de reatores a partir da década de 1960. Isso se alinha bem com a observação de Mazzucato de que o P&D deve se alinhar com planejamento, política de alianças comerciais e com o “patenteamento persistente” de inovações. Sobre este último ponto, apesar do licenciamento compulsório de patentes no setor nuclear em favor do governo, a preocupação com o tema da propriedade intelectual e de sua justa remuneração está presente nos textos dos dois *Atomic Energy Act* (1946 e 1954).

A trajetória da indústria nuclear estadunidense mostra uma mudança de atuação do governo na economia e sociedade dos EUA. Retomando a categorização de Evans (1995), pode-se dizer que, até o início dos anos 1930, o governo dos EUA atuava de forma indireta, fornecendo incentivos e proteção alfandegária aos empresários. A eleição de Franklin Delano Roosevelt e a Segunda Guerra Mundial promoveram uma ruptura com tal lógica, favorecendo uma intervenção mais direta na economia.

A partir de 1939, alertado pela famosa carta de Einstein, Roosevelt direcionou a máquina pública para atuar como demiurgo, criando a infraestrutura e fazendo investimentos massivos em pesquisa básica. As empresas entraram no setor da energia nuclear puxadas pelo setor público (o caso da *Du Pont*), com contratos que forneciam condições seguras e atrativas (contratos *cost-plus*) para a empreitada nuclear. Os contatos entre os setores público e privado e as

relações de parceria entre os dois mostram o potencial de um Estado que mantém uma boa comunicação com o setor privado.

No pós-guerra, o governo, por meio da AEC, atuou como custódio no setor nuclear. A AEC era responsável por regular o setor nuclear e incentivar o setor privado a conduzir pesquisas e construir reatores. Devido à resistência e falta de interesse do setor privado, a AEC teve que fornecer incentivos, financiar pesquisas e até recorrer a ameaças de estatizar o setor para mobilizar as companhias. Apesar do atraso, a AEC obteve sucessos mais expressivos a partir do final da década de 1950, como já foi dito.

A participação do governo no estabelecimento de um setor tecnológico no qual os EUA não possuíam liderança em 1939 é notável. Como este estudo mostrou as melhores universidades e grupos de pesquisa em Física Nuclear estavam na Europa. Os cientistas estadunidenses estavam atrasados nas descobertas e frequentemente tinham que reproduzir experimentos realizados no Velho Mundo. Até mesmo a quantidade de urânio extraído era insuficiente, pelo menos até os incentivos de prospecção fornecidos pela AEC. No entanto, no fim do período analisado, os EUA tinham a indústria nuclear mais avançada do mundo.

Os avanços na Física Nuclear e seus *spillovers* para o setor produtivo possibilitaram a melhor utilização de insumos com uso apenas marginal na indústria até aquele momento (urânio) e trouxeram a possibilidade de novas “combinações”, como argumentou Schumpeter (1997). No entanto, não houve benefícios econômicos imediatos no desenvolvimento de energia elétrica nuclear (fora das invenções *spillover*). O entusiasmo do setor privado era baixo, e isso se refletiu no interesse paulatino das companhias pela energia nuclear. Tal fato se alinha perfeitamente com o argumento de que os avanços são absorvidos lentamente, à medida que os indivíduos identificam ganhos econômicos. O papel do Estado foi apontar os potenciais da energia nuclear para os atores privados e manter o ritmo de pesquisa e desenvolvimento enquanto as companhias absorviam os potenciais da energia nuclear aos poucos.

A crítica de Freeman e Soete (2008) sobre a “mal-concebida” tentativa do setor público de desenvolver reatores nucleares faz sentido, mas esbarra em um problema: como a trajetória da indústria nuclear dos EUA nos mostra, o governo

tentou atrair o interesse das companhias privadas no pós-guerra, mas os empresários não demonstraram grande interesse inicial. Se a AEC não desse o passo inicial e construísse tais reatores, ninguém mais os construiria naquele momento – estava em jogo o futuro do setor nuclear.

Retomando os argumentos de Nelson (1993), é possível afirmar que o grande salto da indústria nuclear ocorreu conjuntamente com uma mudança no sistema nacional de inovação dos EUA. O Estado passou a exercer um papel cada vez maior no financiamento da P&D no país, papel alavancado pelas crises nacionais que os EUA passaram durante a primeira metade do século XX. Após o despreparo vivido durante a Primeira Guerra Mundial, a Crise de 1929 e, principalmente, a Segunda Guerra Mundial, o governo dos EUA se estabeleceu firmemente como um patrono da em geral (e no campo nuclear, especificamente). A tendência se consolidou no pós-guerra, com a criação de instituições como a NSF e a AEC.

O novo sistema de inovação dos EUA se consolidou no pós-guerra, com o firme posicionamento do governo em relação ao financiamento de inovações e a enorme contribuição da AEC para o desenvolvimento da indústria nuclear. Obviamente, a participação da iniciativa privada permaneceu um elemento muito importante, mas ela foi combinada com incentivos governamentais durante as décadas de 1940 e 1950.

A atividade reguladora da AEC, aliada aos investimentos no setor nuclear, permitiram ao governo estadunidense exercer grande poder de influência no futuro do setor nuclear, ainda mais porque, nos primeiros anos, a AEC exercia um papel monopsônico. Ela utilizou esse poder para continuar desenvolvendo a indústria nuclear enquanto a iniciativa privada não assumia um papel mais proeminente no setor, o que ocorreu no final dos anos 1950.

A história da indústria nuclear estadunidense deixa evidente a importância dos militares para a inovação. O Projeto Manhattan ganhou um novo ímpeto após os militares assumirem sua administração durante a Segunda Guerra Mundial. A *expertise* dos militares em construção e administração auxiliou a construção de uma enorme infraestrutura que envolvia reatores nucleares, laboratórios de pesquisa, usinas de enriquecimento de urânio e até cidades inteiras para acomodar o pessoal envolvido com o projeto.

Os militares se envolveram intensamente com o setor de energia nuclear por uma simples razão: as bombas nucleares poderiam mudar o curso da Segunda Guerra Mundial. A relação do contexto internacional com o interesse dos militares é essencial para entender o desenvolvimento da energia nuclear. O argumento de Waltz (2001) sobre necessidade de garantir a sobrevivência em um sistema internacional anárquico explica a preocupação dos EUA com um desenvolvimento que, embora inicialmente possuísse resultados parcos para os civis, era revolucionário para os militares: os EUA, naquele contexto, realizaram um balanceamento interno. Mesmo assim, com o devido tempo e o apoio dos militares, a energia nuclear tornou-se um setor promissor para o setor civil também.

A demanda dos militares por explosivos nucleares manteve a indústria em expansão logo após a guerra. A falta de interesse do setor privado no desenvolvimento de inovações no setor nuclear foi compensada, até certo ponto, pela demanda dos militares por material radioativo e novas bombas para o arsenal estadunidense. É inegável que o foco da demanda dos militares não contemplava reatores para produção de energia elétrica, mas interesse da Marinha em reatores navais produziu o protótipo de reator que seria, mais tarde, adaptado para a geração de energia elétrica.

Mesmo o foco militar na produção de bombas e material radioativo teve *spillovers* positivos para a indústria como um todo. A invenção do teflon e do poliestireno, na área de materiais; o desenvolvimento de computadores para realizar cálculos para a bomba de hidrogênio; e os diversos avanços para a ciência e medicina advindos da exploração da energia atômicas foram contribuições secundárias da procuração de explosivos nucleares. A injeção de recursos na manutenção e expansão do esforço de pesquisa e produção tiveram efeitos significativos na economia como um todo.

## **6 CONCLUSÃO**

A trajetória da indústria nuclear estadunidense mostra que existem situações em que a atuação estatal não é somente virtuosa para a inovação – ela é essencial. O governo dos EUA mobilizou recursos institucionais e financeiros vultosos para realizar um investimento arriscado que poderia ter

obtido poucos resultados tangíveis ou fracassado totalmente. Mesmo com o sucesso da indústria nuclear na área militar, os frutos desta indústria para os civis só começaram a ser produzidos mais de uma década após o fim do Projeto Manhattan. Essa escala de risco e demora de retorno, somente, seria suficiente para desmotivar a maioria dos investidores privados ou, na melhor das hipóteses, atrasar significativamente o desenvolvimento das inovações nucleares.

As instituições públicas atuaram onde o setor privado encontrou dificuldades em tomar a iniciativa. Isso porque o setor público atua com uma lógica diferente, como foi argumentado ao longo da pesquisa. Uma companhia privada, antes de fazer um investimento, pensa em retornos a médio prazo e procura empreendimentos conhecidos em que a chance de sucesso seja avaliada positivamente. Nenhuma dessas características denota a indústria nuclear no final dos anos 1930 e começo dos anos 1940. Tratava-se de um empreendimento mal compreendido (que suscitou dúvidas até mesmo entre os físicos), com alto risco e um retorno potencial duvidoso, principalmente porque o custo da energia era relativamente barato nos EUA.

O gatilho para o salto da área nuclear foi a grande expansão da intervenção governamental no âmbito da Segunda Guerra Mundial, incentivada pela ameaça de um potencial programa nuclear alemão. Nesse cenário, o governo dos EUA fez investimentos vultosos na área nuclear e atraiu parceiros privados para a construção de reatores e desenvolvimento de processos inovadores. O cálculo do governo estadunidense envolvia elementos geopolíticos e, portanto, os US\$ 2 bilhões gastos para construir a infraestrutura que produziu as primeiras bombas nucleares não visava o custo-benefício e o desenvolvimento imediato da energia elétrica nuclear. No entanto, sem este primeiro passo, os reatores nucleares demorariam muito mais para sair do papel.

O fato de o governo ter tido um papel de liderança no setor nuclear não exclui a importância do setor privado: a indústria nuclear não teria desenvolvido sem o *know-how* e dinamicidade das companhias, que foram contratadas para realizar obras e desenvolver novos processos. Além disso, sem a participação das companhias e seu gradual engajamento no setor nuclear, é bem possível que várias das inovações produzidas não teriam sido disseminadas para o setor

civil ou teriam que ser mantidas de forma ineficiente pelo governo – afinal de conta, preocupação da iniciativa privada com a viabilidade econômica e a eficiência de um empreendimento também é importante, legítima e benéfica. A história da energia nuclear dos EUA é uma história de parceria: por maiores que fossem as reservas e letargia iniciais do setor privado, devido ao risco da empreitada, ele se engajou cada vez mais com o setor ao longo do tempo. O apoio governamental estabeleceu as bases para que o setor privado assumisse uma participação mais independente no setor nuclear em um momento posterior.

A pesquisa evidenciou as virtudes e os vícios tanto da iniciativa privada quanto do setor público. O governo dos EUA foi capaz de prover os recursos financeiros e organizacionais para um projeto de alto risco almejando questões além do retorno financeiro a curto ou médio prazo. Do lado do setor privado, as companhias foram essenciais, na condição de contratadas, para construir a infraestrutura, desenvolver novos materiais, técnicas e possibilitar a construção das bombas atômicas. No pós-guerra, o governo exerceu o papel importantíssimo de manter a indústria nuclear ativa e incentivar uma forte participação independente do setor privado. Tal parceria ajudou cada um dos dois atores a superar suas fraquezas: o setor privado conseguiu utilizar suas forças em um ambiente de menores incertezas e com um comprador garantido; já o governo conseguiu superar obstáculos no processo de inovação com a engenhosidade do setor privado.

O ponto central é que o governo atuou de uma forma diferente e complementar à iniciativa privada, liderando o processo de inovação na área nuclear e assumindo os riscos. As companhias foram asseguradas de que, qualquer que fosse o resultado da empreitada, seus custos seriam cobertos pelo governo dos EUA, o que diminuiu muito os riscos. Como contrapartida, a engenhosidade das companhias estadunidenses contratadas foi essencial para a construção dos primeiros reatores nucleares do mundo. A importância do setor privado jamais foi perdida de vista pelo governo, que tentou ao máximo incentivar a participação das companhias no pós-guerra. Governo e setor privado forjaram uma relação construtiva, virtuosa e bem-sucedida. É difícil imaginar uma história de sucesso para a indústria nuclear sem essa parceria.

Alguns apontamentos devem ser feitos em relação ao estudo de caso analisado. A Segunda Guerra Mundial foi um evento único na história dos EUA, possibilitando uma ruptura com práticas estabelecidas que provavelmente não seria possível de forma tão radical em tempos pacíficos. Esbarra-se, aqui, nas limitações institucionais e sociais à mudança. Caso a emergência da guerra não tivesse ocorrido, o governo dos EUA possivelmente teria de atuar de forma mais indireta, lenta e gradual em sua parceria com o setor privado na área nuclear. Além disso, é impossível prever quais seriam os efeitos de outra abordagem naquele contexto histórico. De qualquer forma, o ponto central permanece inalterado: o governo que atua de forma complementar à iniciativa privada exerce uma influência importante no processo de inovação. O estudo de caso mostra a constância da importância do poder público dos EUA na inovação no setor nuclear, embora as formas concretas se alterem de acordo com o contexto social e político.

A atuação dos EUA no contexto do início da Guerra Fria traz um outro exemplo da influência do contexto sobre as políticas públicas. A participação direta possibilitada pela emergência da Segunda Guerra Mundial deu lugar a uma política de investimentos em P&D e à atração da iniciativa privada em um contexto de conflito ideológico com a URSS. Da mesma forma, o foco em investimentos em P&D com aplicações diretamente militares foi abandonado em favor de um apoio maior à competição com os soviéticos pela liderança no campo da geração de energia elétrica nuclear. As oportunidades proporcionadas por contextos políticos críticos, como conflitos bélicos, na relação de parceria entre o setor público e o setor privado é uma questão que fica aberta a uma análise posterior mais pormenorizada.

As possibilidades de atuação de um governo no contexto social, político e econômico atual é uma questão importante que também aguarda uma investigação posterior. Esta é uma questão bastante relevante se levarmos em conta as dificuldades que alguns países democráticos, como o Brasil, enfrentam para estabelecer um consenso político para avançar com determinadas pautas e políticas públicas.

Embora a pesquisa tenha focado em eventos que ocorreram há bastante tempo e em outro país, ela traz lições valiosas para os dias atuais,

particularmente para o Brasil. Enquanto o debate nacional for fortemente balizado em posições antípodas de setor público X setor privado, teremos dificuldade promover a integração virtuosa entre Estado e as companhias privadas. Um obstáculo significativo que temos que superar é a imagem negativa do Estado carregado por boa parte da população. Isso pode ser feito por meio do aumento da eficiência dos gastos e com histórias de sucesso de parceria público-privada. Da mesma forma, é preciso difundir a ideia que a iniciativa privada enfrenta obstáculos bastante significativos e precisa de apoio estatal – e que este apoio não significa dirigismo, burocracia, mais impostos ou atrasos para o empresariado.

Um possível caminho para a superação dessas questões é entender que as duas correntes teóricas expostas neste trabalho apresentam argumentos e preocupações legítimas em relação ao papel do governo na economia. Um ponto que todos os autores citados concordariam é que a atuação governamental necessita de ser virtuosa e considerar os efeitos de seus atos. Da mesma forma, é universal a condenação à captura do governo pelo setor privado ou, o que é igualmente grave, a falta de comunicação e coordenação do governo com a sociedade. O estudo de caso mostrou que a construção de uma relação virtuosa entre governo e setor privado é um jogo de múltiplas rodadas que se estende no tempo. É necessário que um governo tente construir confiança a cada ação, a cada política.

## 7 ANEXOS

### 7.1 Anexo I – Fissão Nuclear

Esta seção visa responder uma pergunta muito simples: por que somente algumas substâncias muito específicas, como o urânio e o plutônio, podem ser utilizadas para gerar energia nuclear.

Segundo Reed (2011),

Qualquer reação envolverá reagentes de entrada e saída. A energia total de qualquer reagente específico é a soma de sua energia cinética e sua energia de massa relativística,  $mc^2$ . Como a energia total de massa deve ser conservada, podemos escrever:

$$\sum KE_{input} + \sum m_{input} c^2 = \sum KE_{output} + \sum m_{output} c^2 \quad (1)$$

onde as somas são sobre os reagentes; as massas são as massas de repouso dos reagentes. O valor Q de uma reação é definido como a diferença entre as energias cinéticas de saída e de entrada:

$$Q = \sum KE_{output} - \sum KE_{input} = \sum m_{output} c^2 - \sum m_{input} c^2 \quad (2)$$

**Se  $Q > 0$ , então a reação libera energia, enquanto se  $Q < 0$ , a reação exige uma energia mínima para que aconteça.** (REED, 2015, p. 2, tradução livre, destaque nosso)

Nota-se, pela equação, que o valor Q é obtido a partir da variação da energia cinética que, conseqüentemente, é função da alteração de massa dos reagentes segundo a famosa equação de conversão de Einstein ( $E = mc^2$ ). A energia cinética depende da alteração do momento total do sistema formado pelos fragmentos da fissão, e a conservação do momento é uma lei fundamental da Física; para alterar o momento do sistema é necessário fornecer energia. De onde vem a energia? Da conversão de uma pequena parte da massa dos reagentes. É por isso que os átomos possuem valores de massa que não são múltiplos inteiros da massa de um próton (este fato pode ser chamado de “excesso de massa”).

A equação de Q pode ser reescrita da seguinte forma:

$$Q = (\sum m_{input}^{amu} - \sum m_{output}^{amu})fc^2 \quad (3)$$

onde amu (*atomic mass unit*) é a massa atômica de 1/12 de um átomo de carbono-12. Um amu equivale à massa de um próton.  $Fc^2$  pode ser abreviado para  $\varepsilon$ .

Com a fórmula (3) em mãos, continuemos com a argumentação de Reed (2011):

Agora, considere um reagente individual com número de massa A. O excesso de massa  $m$  dessa espécie é definido como o número de unidades de massa atômica (amu) que devem ser adicionadas a A amu (como um número inteiro) para obter a massa real (em amu) da espécie:

$$m = A + \mu \quad (1.7)$$

substituindo isto [...] resulta em:

$$Q = (\sum [A_{input} + \mu_{input}] - \sum [A_{output} + \mu_{output}])\varepsilon \quad (1.8)$$

O número de núcleons é sempre conservado,  $m = \sum A_{input} = \sum A_{output}$ , o que reduz (1.8) para

$$Q = (\sum \mu_{input} - \sum \mu_{output})\varepsilon \quad (1.9)$$

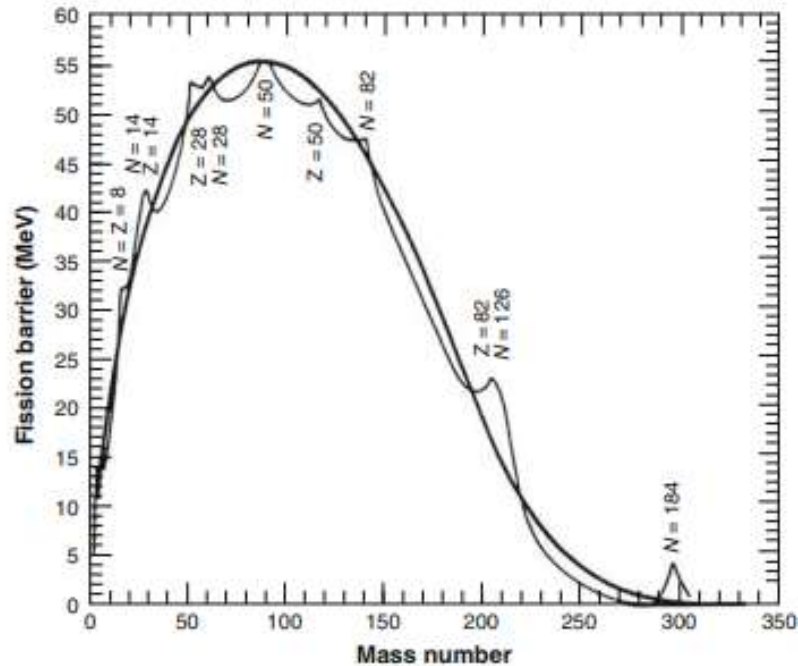
O produto  $m\varepsilon$  é convencionalmente designado como  $\Delta$ :

$$Q = (\sum \Delta_{input} - \sum \Delta_{output})\varepsilon \quad (1.10)$$

REED, 2015, p. 3, tradução livre.

É justamente o valor Q que limita as substâncias que podem ser usadas em reatores e explosivos nucleares. Para sustentar uma reação em cadeia, é necessário que um átomo cumpra duas condições: (1) o valor Q positivo consegue superar a barreira de fissão, que é a quantidade de energia necessária para romper um átomo e (2) ele deve gerar, em média, mais de um nêutron após se partir. O gráfico 1 mapeia o valor das barreiras de fissão dos átomos:

### Gráfico 1 – Barreira de Fissão X Número de Massa



Fonte: REED, 2015, p. 28.

A tendência do gráfico é bem clara: a barreira de fissão chega a um máximo para elementos de massa média, antes de despencar nos elementos mais pesados. Só pelo valor de barreira percebe-se que podemos eliminar a maioria dos elementos e focar naqueles mais pesados, como urânio. No entanto, isso é só parte da história. É preciso que o valor  $Q$  da absorção de um nêutron seja suficiente para superar o valor da barreira de fissão. Felizmente, há dois átomos em que isso é verdade: urânio-235 e plutônio-239.

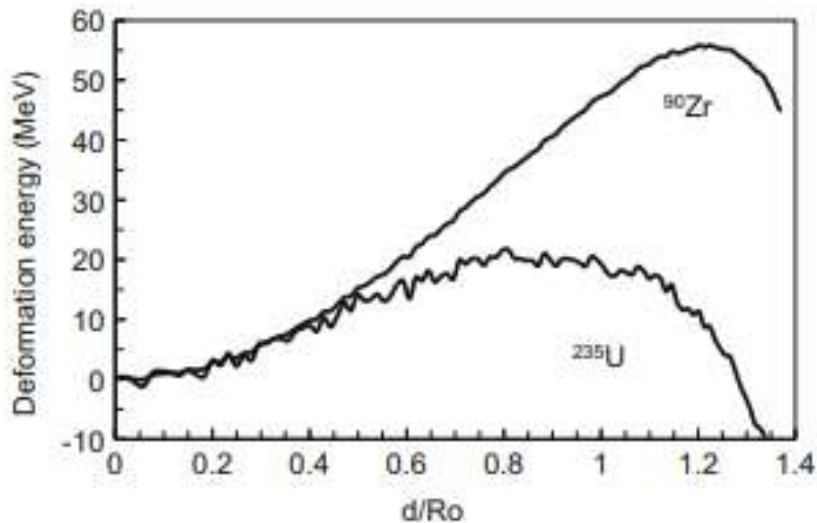
O urânio-238, isótopo mais abundante de urânio, não funciona porque o valor  $Q$  de quando ele absorve um nêutron é de 4.8 Mev (milhões de elétrons-volt), enquanto a barreira de fissão é de 6.45 Mev (REED, 2015). Além disso, o U-238 tem uma forte tendência para sofrer colisões inelásticas com nêutrons energéticos, diminuindo a energia das partículas que poderia fornecer a diferença de aproximadamente 1.65 Mev para causar a fissão.

Finalmente, uma breve explicação sobre o valor da barreira de fissão: o valor pode ser calculado a partir do modelo *liquid drop* (gota), utilizado pela própria Lise Meitner para explicar a fissão, em 1938. Ao tratar o átomo como uma gota de um líquido, é possível perceber que as diferentes configurações geométricas de um átomo levam a diferentes valores de energia interna (as

forças de coulomb resultantes das interações entre os prótons) e valores de energia superficial (a energia resultante da interação entre os prótons mais externos, que estão menos fortemente amarrados ao núcleo). Ao ser atingido por um nêutron, o átomo se deforma, alterando os valores de energia superficial e energia interna.

A variação dos valores de energia superficial e energia interna, atrelados à deformação geométrica do átomo, chegam a um máximo antes de caírem muito à medida que ocorre a fissão. O valor máximo de energia de deformação é a energia de barreira. Utilizando cálculos simplificados, Reed (2015) conseguiu resultados bem próximos aos valores reais de barreira de fissão para o Zircônio (aproximadamente 55 Mev,), mas obteve um valor bem mais alto do que o real para o U-235 (o cálculo indicou cerca de 20 Mev, mas o valor real é, aproximadamente, 6 Mev). No entanto, a tendência e lógica do fenômeno foi bem captada (gráfico 2).

**Gráfico 2 – Energia de Deformação X deformação<sup>117</sup>**

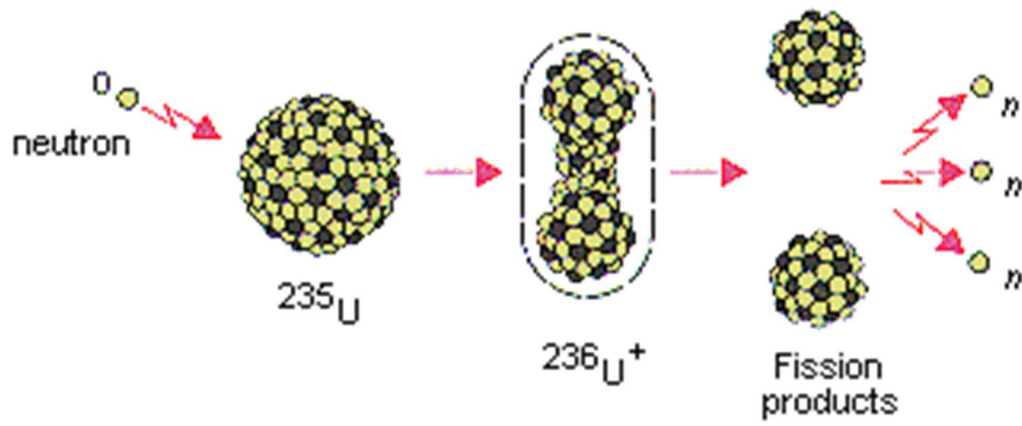


Fonte: REED, 2015, p. 46.

---

<sup>117</sup> O  $d/R_0$  é uma medida de deformação, à medida que  $d$  representa a distância até o centro do pescoço que une os dois fragmentos atômicos à medida que se separam (pensemos em uma gota de água que, à medida que se separam, formam duas esferas ligadas por um “pescoço equatorial” cada vez mais fino).

Imagem 1 – Representação da Fissão de um Átomo de U-235 (*liquid drop*)



Fonte: <<https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch23/fission.php>>

## 7.2 Anexo II – Carta de Einstein ao Presidente Roosevelt<sup>118</sup>

### Carta traduzida:

Albert Einstein  
Old Grove Rd.  
Nassau Point  
Peconic, Long Island  
2 de agosto de 1939

F. D. Roosevelt  
Presidente dos Estados Unidos  
Casa Branca  
Washington, D.C.

Senhor,

Alguns trabalhos recentes de E. Fermi e L. Szilard, que me foram comunicados por manuscrito, levam-me a acreditar que o elemento urânio pode ser transformado em uma nova e importante fonte de energia em um futuro próximo. Certos aspectos da situação que surgiu parecem exigir vigilância e, se necessário, ação rápida por parte do Governo. Portanto, acredito ser meu dever chamar sua atenção para os seguintes fatos e recomendações.

Nos últimos quatro meses, tornou-se provável - através do trabalho de Joliot, na França, assim como Fermi e Szilard, na América - que possa ser possível iniciar uma reação nuclear em cadeia em uma grande massa de urânio, através da qual vastas quantidades de energia e grandes quantidades de novos elementos semelhantes ao rádio seriam geradas. Agora parece quase certo que isso poderia ser alcançado em um futuro imediato.

Esse novo fenômeno também levaria à construção de bombas e é concebível - embora menos certo - que assim sejam construídas bombas

---

<sup>118</sup> REED, 2019, pp. 128-129, tradução livre.

extremamente poderosas de um novo tipo. Uma única bomba desse tipo, transportada por barco e explodida em um porto, poderia muito bem destruir todo o porto, juntamente com parte do território circundante. No entanto, tais bombas podem se revelar muito pesadas para serem transportadas por via aérea.

Os Estados Unidos têm apenas minérios muito pobres de urânio em quantidades moderadas. Existem alguns minérios bons no Canadá e na antiga Tchecoslováquia, enquanto a fonte mais importante de urânio é o Congo Belga.

Diante dessa situação, talvez seja desejável manter um contato mais permanente entre a Administração e o grupo de físicos que trabalham em reações em cadeia na América. Uma maneira possível de alcançar isso seria confiar a uma pessoa de sua confiança, que talvez pudesse atuar de forma não oficial, a tarefa de:

(a) abordar os Departamentos do Governo, mantê-los informados sobre os desenvolvimentos futuros e apresentar recomendações para ação governamental, dando atenção especial ao problema de garantir o fornecimento de minério de urânio para os Estados Unidos;

(b) acelerar o trabalho experimental, que está sendo realizado atualmente dentro dos limites dos orçamentos dos laboratórios universitários, fornecendo fundos, se necessário, por meio de contatos com pessoas particulares que estejam dispostas a fazer contribuições para esta causa e, talvez também, obtendo a cooperação de laboratórios industriais que tenham o equipamento necessário.

Entendo que a Alemanha realmente interrompeu a venda de urânio das minas tchecoslovacas que ela tomou. Essa ação precoce por parte da Alemanha pode ser compreendida talvez pelo fato de que o filho do Subsecretário de Estado alemão, von Weizsäcker, está ligado ao Instituto Kaiser Wilhelm em Berlim, onde parte do trabalho estadunidense sobre o urânio está sendo repetido.

Com os mais sinceros cumprimentos,

Albert Einstein

**Carta original:**

Albert Einstein  
Old Grove Rd.  
Nassau Point  
Peconic, Long Island  
August 2nd 1939

F. D. Roosevelt  
President of the United States  
White House  
Washington, D.C.  
Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations.

In the course of the last four months it has been made probable—through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America—that it may become possible to set up a nuclear chain reaction in a large mass of uranium, by which vast amounts of power and large quantities of new radium-like elements would be generated. Now it appears almost certain that this could be achieved in the immediate future.

This new phenomenon would also lead to the construction of bombs, and it is conceivable—though much less certain—that extremely powerful bombs of a new type may thus be constructed. A single bomb of this type, carried by boat and exploded in a port, might very well destroy the whole port together with some of the surrounding territory. However, such bombs might very well prove to be too heavy for transportation by air.

The United States has only very poor ores of uranium in moderate quantities. There is some good ore in Canada and the former Czechoslovakia, while the most important source of uranium is Belgian Congo.

In view of the situation you may think it desirable to have more permanent contact maintained between the Administration and the group of physicists working on chain reactions in America. One possible way of achieving this might be for you to entrust with this task a person who has your confidence and who could perhaps serve in an inofficial (*sic*) capacity. His task might comprise the following:

(a) to approach Government Departments, keep them informed of the further development, and put forward recommendations for Government action, giving particular attention to the problem of securing a supply of uranium ore for the United States;

(b) to speed up the experimental work, which is at present being carried on within the limits of the budgets of University laboratories, by providing funds, if such funds be required, through his contacts with private persons who are willing to make contributions for this cause, and perhaps also by obtaining the co-operation of industrial laboratories which have the necessary equipment.

I understand that Germany has actually stopped the sale of uranium from the Czechoslovakian mines which she has taken over. That she should have taken such early action might perhaps be understood on the ground that the son of the German Under-Secretary of State, von Weizsäcker, is attached to the Kaiser Wilhelm-Institute in Berlin where some of the American work on uranium is now being repeated.

Yours very truly,

Albert Einstein

### 7.3 Anexo II – Reatores e Data de Inauguração

Nome	Tip o	Status	Localização	Potência referenci al [MW]	Capacida de bruta [MW]	Primei ra conex ão à rede
GE VALLECITOS	BWR	Permanen t Shutdown	Pleasanton, Sunol	24	24	1957-10- 19
SHIPPINGPOR T	PWR	Permanent Shutdown		60	68	1957-12- 02
DRESDEN-1	BWR	Permanent Shutdown	MORRIS	197	207	1960-04- 15
YANKEE NPS	PWR	Permanent Shutdown	ROWE	167	180	1960-11- 10
INDIAN POINT-1	PWR	Permanent Shutdown	BUCHANAN	257	277	1962-09- 16
BIG ROCK POINT	BWR	Permanent Shutdown	CHARLEVOIX	67	71	1962-12- 08
HUMBOLDT BAY	BWR	Permanent Shutdown	EUREKA	63	65	1963-04- 18
PIQUA	X	Permanent Shutdown	Piqua	12	12	1963-07- 01
ELK RIVER	BWR	Permanent Shutdown		22	24	1963-08- 24
HALLAM	X	Permanent Shutdown	Lincoln	75	84	1963-09- 01
CVTR	PHW R	Permanent Shutdown	Parr	17	19	1963-12- 18
BONUS	BWR	Permanent Shutdown	Rincon	17	18	1964-08- 14
PATHFINDER	BWR	Permanent Shutdown		59	63	1966-07- 25
FERMI-1	FBR	Permanent Shutdown	LAGOONA BEACH	61	65	1966-08- 05
PEACH BOTTOM-1	HTGR	Permanent Shutdown	YORK COUNTY	40	42	1967-01- 27
SAXTON	PWR	Permanent Shutdown		3	3	1967-03- 01
SAN ONOFRE- 1	PWR	Permanent Shutdown	SAN CLEMENTE	436	456	1967-07- 16
HADDAM NECK	PWR	Permanent Shutdown	HADDAM NECK	560	603	1967-08- 07

LACROSSE	BWR	Permanent Shutdown	GENOA	48	55	1968-04-26
OYSTER CREEK	BWR	Permanent Shutdown	FORKED RIVER	619	652	1969-09-23
NINE MILE POINT-1	BWR	Operational	SCRIBA	613	642	1969-11-09
GINNA	PWR	Operational	ONTARIO	560	608	1969-12-02
VOGTLE-4	PWR	Under Construction	WAYNESBORO	1117	1250	
DRESDEN-2	BWR	Operational	MORRIS	894	950	1970-04-13
ROBINSON-2	PWR	Operational	HARTSVILLE	741	780	1970-09-26
POINT BEACH-1	PWR	Operational	TWO CREEKS	591	640	1970-11-06
MILLSTONE-1	BWR	Permanent Shutdown	WATERFORD	641	684	1970-11-29
MONTICELLO	BWR	Operational	MONTICELLO	628	691	1971-03-05
DRESDEN-3	BWR	Operational	MORRIS	879	935	1971-07-22
PALISADES	PWR	Permanent Shutdown	SOUTH HAVEN	805	850	1971-12-29
QUAD CITIES-1	BWR	Operational	CORDOVA	908	940	1972-04-12
QUAD CITIES-2	BWR	Operational	CORDOVA	911	940	1972-05-23
SURRY-1	PWR	Operational	GRAVEL NECK	838	890	1972-07-04
PILGRIM-1	BWR	Permanent Shutdown	PLYMOUTH	677	711	1972-07-19
POINT BEACH-2	PWR	Operational	TWO CREEKS	591	640	1972-08-02
VERMONT YANKEE	BWR	Permanent Shutdown	VERNON	605	635	1972-09-20
TURKEY POINT-3	PWR	Operational	FLORIDA CITY	837	829	1972-11-02
MAINE YANKEE	PWR	Permanent Shutdown	WISCASSET	860	900	1972-11-08
SURRY-2	PWR	Operational	GRAVEL NECK	838	890	1973-03-10
OCONEE-1	PWR	Operational	OCONEE	847	891	1973-05-06

TURKEY POINT-4	PWR	Operational	FLORIDA CITY	821	829	1973-06-21
INDIAN POINT-2	PWR	Permanent Shutdown	BUCHANAN	998	1067	1973-06-26
ZION-1	PWR	Permanent Shutdown	ZION	1040	1085	1973-06-28
FORT CALHOUN-1	PWR	Permanent Shutdown	FORT CALHOUN	482	512	1973-08-25
BROWNS FERRY-1	BWR	Operational	DECATUR	1200	1256	1973-10-15
PRAIRIE ISLAND-1	PWR	Operational	RED WING	522	566	1973-12-04
OCONEE-2	PWR	Operational	OCONEE	848	891	1973-12-05
ZION-2	PWR	Permanent Shutdown	ZION	1040	1085	1973-12-26
PEACH BOTTOM-2	BWR	Operational	YORK COUNTY	1300	1412	1974-02-18
KEWAUNEE	PWR	Permanent Shutdown	CARLTON	566	595	1974-04-08
COOPER	BWR	Operational	BROWNVILLE	769	801	1974-05-10
DUANE ARNOLD-1	BWR	Permanent Shutdown	PALO	601	624	1974-05-19
THREE MILE ISLAND-1	PWR	Permanent Shutdown	DAUPHIN	819	880	1974-06-19
ANO-1	PWR	Operational	POPE	836	903	1974-08-17
BROWNS FERRY-2	BWR	Operational	DECATUR	1200	1259	1974-08-28
PEACH BOTTOM-3	BWR	Operational	YORK COUNTY	1331	1412	1974-09-01
OCONEE-3	PWR	Operational	OCONEE	859	900	1974-09-18
RANCHO SECO-1	PWR	Permanent Shutdown	SACRAMENTO	873	917	1974-10-13
HATCH-1	BWR	Operational	BAXLEY	876	911	1974-11-11
PRAIRIE ISLAND-2	PWR	Operational	RED WING	519	560	1974-12-21
CALVERT CLIFFS-1	PWR	Operational	LUSBY	877	918	1975-01-03
FITZPATRICK	BWR	Operational	OSWEGO	813	849	1975-02-01

COOK-1	PWR	Operational	BRIDGMAN	1030	1131	1975-02-10
BRUNSWICK-2	BWR	Operational	SOUTHPORT	932	960	1975-04-29
MILLSTONE-2	PWR	Operational	WATERFORD	869	918	1975-11-09
TROJAN	PWR	Permanent Shutdown	PRESCOTT	1095	1155	1975-12-23
INDIAN POINT-3	PWR	Permanent Shutdown	BUCHANAN	1030	1085	1976-04-25
ST. LUCIE-1	PWR	Operational	FORT PIERCE	981	1045	1976-05-07
BEAVER VALLEY-1	PWR	Operational	SHIPPINGPORT	908	959	1976-06-14
BROWNS FERRY-3	BWR	Operational	DECATUR	1210	1260	1976-09-12
BRUNSWICK-1	BWR	Operational	SOUTHPORT	938	990	1976-12-04
CALVERT CLIFFS-2	PWR	Operational	LUSBY	855	911	1976-12-07
FORT ST. VRAIN	HTGR	Permanent Shutdown	PLATTEVILLE	330	342	1976-12-11
SALEM-1	PWR	Operational	SALEM	1169	1254	1976-12-25
CRYSTAL RIVER-3	PWR	Permanent Shutdown		860	890	1977-01-30
FARLEY-1	PWR	Operational	DOTHAN	874	918	1977-08-18
DAVIS BESSE-1	PWR	Operational	OTTAWA	894	925	1977-08-28
COOK-2	PWR	Operational	BRIDGMAN	1168	1231	1978-03-22
NORTH ANNA-1	PWR	Operational	MINERAL	948	990	1978-04-17
THREE MILE ISLAND-2	PWR	Permanent Shutdown	DAUPHIN	880	959	1978-04-21
HATCH-2	BWR	Operational	BAXLEY	883	921	1978-09-22
ANO-2	PWR	Operational	POPE	988	1065	1978-12-26
SEQUOYAH-1	PWR	Operational	DAISY	1152	1221	1980-07-22
NORTH ANNA-2	PWR	Operational	MINERAL	944	1011	1980-08-25

FARLEY-2	PWR	Operational	DOTHAN	883	928	1981-05-25
SALEM-2	PWR	Operational	SALEM	1158	1200	1981-06-03
MCGUIRE-1	PWR	Operational	CORNELIUS	1158	1215	1981-09-12
SEQUOYAH-2	PWR	Operational	DAISY	1139	1200	1981-12-23
LASALLE-1	BWR	Operational	MARSEILLES	1137	1207	1982-09-04
SAN ONOFRE-2	PWR	Permanent Shutdown	SAN CLEMENTE	1070	1127	1982-09-20
SUSQUEHANNA-1	BWR	Operational	SALEM	1257	1330	1982-11-16
SUMMER-1	PWR	Operational	JENKINSVILLE	973	1006	1982-11-16
MCGUIRE-2	PWR	Operational	CORNELIUS	1158	1215	1983-05-23
ST. LUCIE-2	PWR	Operational	FORT PIERCE	987	1050	1983-06-13
SAN ONOFRE-3	PWR	Permanent Shutdown	SAN CLEMENTE	1080	1127	1983-09-25
LASALLE-2	BWR	Operational	MARSEILLES	1140	1207	1984-04-20
COLUMBIA	BWR	Operational	BENTON	1131	1190	1984-05-27
SUSQUEHANNA-2	BWR	Operational	SALEM	1257	1330	1984-07-03
GRAND GULF-1	BWR	Operational	PORT GIBSON	1401	1500	1984-10-20
CALLAWAY-1	PWR	Operational	FULTON	1215	1275	1984-10-24
DIABLO CANYON-1	PWR	Operational	AVILA BEACH	1138	1197	1984-11-11
CATAWBA-1	PWR	Operational	YORK COUNTY	1160	1188	1985-01-22
BYRON-1	PWR	Operational	BYRON	1164	1242	1985-03-01
WATERFORD-3	PWR	Operational	TAFT	1168	1250	1985-03-18
LIMERICK-1	BWR	Operational	LIMERICK	1134	1194	1985-04-13
PALO VERDE-1	PWR	Operational	WINTERSBURG	1311	1414	1985-06-10

WOLF CREEK	PWR	Operational	BURLINGTON	1200	1285	1985-06-12
DIABLO CANYON-2	PWR	Operational	AVILA BEACH	1118	1197	1985-10-20
RIVER BEND-1	BWR	Operational	ST.FRANCISVILLE	967	1016	1985-12-03
MILLSTONE-3	PWR	Operational	WATERFORD	1210	1280	1986-02-12
CATAWBA-2	PWR	Operational	YORK COUNTY	1150	1188	1986-05-18
PALO VERDE-2	PWR	Operational	WINTERSBURG	1314	1414	1986-05-20
HOPE CREEK-1	BWR	Operational	SALEM	1172	1240	1986-08-01
SHOREHAM	BWR	Permanent Shutdown	SHOREHAM	820	849	1986-08-01
FERMI-2	BWR	Operational	LAGOONA BEACH	1115	1198	1986-09-21
PERRY-1	BWR	Operational	PERRY	1240	1303	1986-12-19
HARRIS-1	PWR	Operational	NEW HILL	964	980	1987-01-19
BYRON-2	PWR	Operational	BYRON	1136	1210	1987-02-06
VOGTLE-1	PWR	Operational	WAYNESBORO	1150	1229	1987-03-27
CLINTON-1	BWR	Operational	HART TOWNSHIP	1062	1098	1987-04-24
BRAIDWOOD-1	PWR	Operational	BRAIDWOOD	1194	1270	1987-07-12
NINE MILE POINT-2	BWR	Operational	SCRIBA	1277	1320	1987-08-08
BEAVER VALLEY-2	PWR	Operational	SHIPPINGPORT	905	958	1987-08-17
PALO VERDE-3	PWR	Operational	WINTERSBURG	1312	1414	1987-11-28
SOUTH TEXAS-1	PWR	Operational	BAY CITY	1280	1354	1988-03-30
BRAIDWOOD-2	PWR	Operational	BRAIDWOOD	1160	1230	1988-05-25
VOGTLE-2	PWR	Operational	WAYNESBORO	1152	1229	1989-04-10
SOUTH TEXAS-2	PWR	Operational	BAY CITY	1280	1354	1989-04-11

LIMERICK-2	BWR	Operational	LIMERICK	1134	1194	1989-09-01
COMANCHE PEAK-1	PWR	Operational	GLEN ROSE	1205	1259	1990-04-24
SEABROOK-1	PWR	Operational	SEABROOK	1246	1296	1990-05-29
COMANCHE PEAK-2	PWR	Operational	GLEN ROSE	1195	1250	1993-04-09
WATTS BAR-1	PWR	Operational	SPRING CITY	1157	1210	1996-02-06
WATTS BAR-2	PWR	Operational	SPRING CITY	1164	1218	2016-06-03
VOGTLE-3	PWR	Operational	WAYNESBORO	1117	1250	2023-03-31

Fonte: IAEA (PRIS), 2023.

## 8 BIBLIOGRAFIA

AGHION, Philippe; ANTONIN, Céline; BUNEL, Simon. **The Power of Creative Destruction: Economic Upheaval and the Wealth of Nations**. Tradução (inglês): Jodie Cohen-Tanugi. Londres: Harvard University Press, 2021.

ALBUQUERQUE, Edme. **Sistema Nacional de Inovação no Brasil: Uma Análise Introdutória a Partir de Dados Disponíveis sobre a Ciência e a Tecnologia**. *Brazilian Journal of Political Economy* [Internet]. 1996Jul;16(3):387–404. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0101-31571996-0891>. Acesso em: 22 set. 2023.

ALLEN, Thomas B; POLMAR, Norman. **Rickover: Father of the Nuclear Navy**. Washington D.C: Potomac Books, 2007. E-book.

AMERICAN PRESIDENCY PROJECT. Franklin D. Roosevelt, **Executive Order 8807—Establishing the Office of Scientific Research and Development**. Promulgada em 28 de junho de 1941. Disponível em: <https://www.presidency.ucsb.edu/node/209713>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

BAGGOT, Jim. **The First War of Physics: The Secret History of The Atom Bomb 1939-1949**. Nova Iorque: Pegasus Books, 2009.

BALOGH, Brian. **Chain Reaction: Expert Debate and Public Participation in American Commercial Nuclear Power, 1945-1975**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1991.

BARUCH, Bernard M.; HIPPELHEUSER, Richard H. Baruch. **American Industry in the War: A Report of the War Industries Board**. New York: Prentice-Hall, 1941.

BIPARTISAN COMMISSION ON BIODEFENSE. **The Athena Agenda: Advancing the Apollo Program for Biodefense**. Bipartisan Commission on Biodefense: Washington, D.C, 2022.

BIRD, Kai; SHERWIN, Martin. **American Prometheus: The Triumph and Tragedy of J. Robert Oppenheimer**. Nova Iorque: Alfred A. Knopf, 2005.

BLOCK, Fred; KELLER, Matthew R (Ed.). **State of Innovation: The U.S. Government's Role in Technology Development**. Nova Iorque: Routledge, 2016. E-book.

BOBBIO, Norberto. **Dicionário de Política**. 11ª Ed. Tradução: Carmen C. Varriale, Gaetano Lo Mônaco, João Ferreira, Luís Guerreiro Pinto Cacaís e Renzo Dini. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1998.

BULLETIN OF THE ATOMIC SCIENTISTS. **Atomic Power and Private Enterprise**. Vol. 9, no. 4, 1953, pp. 135-140.

BUSH, Vannevar. **National Defense Research Committee**. *The Scientific Monthly*, vol. 51, no. 3, 1940, pp. 284–85. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/17290>>. Acesso em 27 Apr. 2023.

- BUSH, Vannevar. **Science, the Endless Frontier: A Report to the President (75<sup>th</sup> Anniversary Edition)**. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2020.
- CARR, Edward Hallett. **Vinte Anos de Crise: 1919-1939**. 2. ed ed. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, Instituto de Pesquisa de Relações Internacionais, 2001.
- CHANG, Ha-Joon. **Kicking away the Ladder: The Myth of Free Trade and the Secret History of Capitalism**. Londres: Anthem Press, 2002.
- CHANG, Ha-Joon; GRABEL, Ilene. **Reclaiming Development: An Alternative Economic Policy Manual**. Nova Iorque: Zed Books, 2004.
- CHERNUS, Ira. **Eisenhower's Atoms for Peace**. Texas: Texas A&M University Press, 2002.
- CIMOLI, M.; DOSI, G.; NELSON, R. R.; STIGLITZ, J. **Instituições e Políticas Moldando o Desenvolvimento Industrial: Uma Nota introdutória**. Revista Brasileira de Inovação, Campinas, SP, v. 6, n. 1, p. 55–85, 2009. DOI: 10.20396/rbi.v6i1.8648941. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8648941>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- CLARK, C. **Iron Kingdom: The Rise and Downfall of Prussia, 1600–1947**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 2006.
- CLARKE, L. **The Origins of Nuclear Power: A Case of Institutional Conflict**. Social Problems, Vol. 32, No. 5 (Jun., 1985). University of California Press.
- CLAUSEWITZ, Carl von. **Da Guerra**. Tradução: Maria Teresa Ramos. São Paulo: Martins Fontes, 1996.
- ENCICLOPEDIA BRITANNICA. **Aeolipile**. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/aeolipile>. Acesso em 05 jun. 2023
- ENCICLOPEDIA BRITANNICA. **Breeder Reactor**. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/breeder-reactor>. Acesso em 27 jul. 2023
- EVANS, Peter. **Embedded Autonomy: States and Industrial Transformation**. Princeton: Princeton University Press, 1995.
- FIELD, Alexander J. **The Economic Consequences of U.S. Mobilization for The Second World War**. New Haven: Yale University Press, 2022.
- FISCHER, David. **History of the International Atomic Energy Agency: the first forty years**. Viena: IAEA, 1997.
- FREEMAN, Christopher; SOETE, Luc. **A Economia da Inovação Industrial**. Tradutores: André Luiz Sica de Campos e Janaina Oliveira Pamplona da Costa. Campinas: Editora Unicamp, 2008.
- FRIEDMAN, Milton. **Capitalism and Freedom**. Chicago: The University of Chicago Press, 2002.

FRIEDMAN, Milton. **Why Government is the Problem**. Essays in Public Policy, no. 39. Stanford, California: Hoover Institution Press, 1993.

FRIEDRICH, Bretislav; HOFFMANN, Dieter; RENN, Jürgen; SCHMALTZ, Florian; WOLF, Martin (Ed.). **One Hundred Years of Chemical Warfare: Research, Deployment, Consequences**. E-book: Springer Open, 2017.

GADDIS, John Lewis. **The Cold War: A New History**. Nova Iorque: Penguin Press, 2005.

GALLARDO, J. L. **Comparative Advantage, Economic Growth and Free Trade**. Revista de Economia Contemporânea, v. 9, n. Rev. econ. contemp., 2005, 9(2), p. 313–335, maio 2005.

GOETZ, Peter A. **A Technical History of America's Nuclear Weapons: Their Design, Operation, Delivery, and Deployment (2<sup>a</sup> ed)**. Amazon: Kindle Edition, 2020. E-book.

GOODMAN, Matthew P.; GERSTEL, Dylan. **Investing in Innovation**. In: Sharpening America's Innovative Edge, editado por William Reinsch and Scott Miller, Center for Strategic and International Studies (CSIS), 2020, pp. 5–15. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/resrep26537.5>>. Acesso em 4 Apr. 2023.

GRUBB, Jeff. **The Brother's War**. E-book: Wizards of the Coast Publishing, 2018.

HAMBY, Alonzo L. **Man of Destiny: FDR and the Making of the American Century**. Nova Iorque: Basic Books, 2015.

HARTCUP, Guy. **The Effect of Science on the Second World War**. Nova Iorque: MacMillan Press, 2000.

HARTLEY, Keith. **The Economics of Arms**. Londres: Agenda Publishing, 2017.

HEWLETT, Richard G.; ANDERSON, Oscar E. **A History of the United States Atomic Energy Commission, Volume I: The New World, 1939–1946**. Washington: U.S. Atomic Energy Commission, 1962. Disponível em: <<https://www.governmentattic.org/5docs/TheNewWorld1939-1946.pdf>>. Acesso em: 21 mai 2023.

HEWLETT, Richard G.; DUNCAN, Francis. **A History of the United States Atomic Energy Commission, Volume II: Atomic Shield, 1947–1952**. Washington: U.S. Atomic Energy Commission, 1972. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/4582828>>. Acesso em: 21 mai 2023.

HEWLETT, Richard G.; HOLL, Jack M. **Atoms for Peace and War, 1953-1961**. Los Angeles: University of California Press, 1989.

IAEA. **Power Reactor Information System**. Disponível em: <<https://pris.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=US>>. Acesso em: 31 jul 2023.

JORGENSEN, Timothy J. **Strange Glow: The Story of Radiation**. Nova Jersey: Princeton University Press, 2016.

JOSEPHSON, Paul R. **Red Atom: Russia's Nuclear Power Program from Stalin to Today**. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2005.

KEALEY, Terence. **The Economic Laws of Scientific Research**. Londres: Palgrave Macmillan UK, 1996.

KENNEDY, Paul M., **The Rise and Fall of the Great Powers: Economic Change and Military Conflict from 1500 to 2000**. Nova Iorque: Vintage Books, 1987.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LE GOFF, Jacques. **Documento/Monumento**. In: História e Memória. Campinas, São Paulo: Editora Unicamp, 1994.

MAHAFFEY, James. **Atomic Awakening: A New Look at the History and Future of Nuclear Power**. New York: Pegasus Books, 2009. E-book.

MAHAFFEY, James. **Nuclear Power: The History of Nuclear Power**. Nova Iorque: Facts on a File, 2011. E-book.

MARGOLIN, V. **The United States in World War II: Scientists, Engineers, Designers**. *Design Issues*, 2013, 29(1), 14–29. <http://www.jstor.org/stable/24267099>.

MAZZUCATO, Mariana. **The Entrepreneurial State**. Londres: Anthem Press, 2013.

MAZZUCATO, Mariana; DOSI, Giovanni (ed.). **Knowledge Accumulation and Industry Evolution: The Case of Pharma-Biotech**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

MEARSHEIMER, John. **A Tragédia da Política das Grandes Potências**. Tradução: Tiago Araújo. 1. ed. Lisboa: Gradiva, 2007.

MISES, Ludwig von. **Liberalism: The Classical Tradition**. Editado por Bettina Bien Graves. Indianapolis: Liberty Fund, 2005.

MORGENTHAU, Hans Joachim. **A Política entre as Nações: a Luta pelo Poder e pela Paz**. Tradução de Oswaldo Biato. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2003.

NASA. **The National Advisory Committee for Aeronautics**. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/ames/the-national-advisory-committee-for-aeronautics>>. Acesso em 26 jul. 2023.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **Mission**. Disponível em: <<https://www.nasonline.org/about-nas/mission/>>. Acesso em 07 ago. 2023.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **About NSF**. Disponível em: <<https://new.nsf.gov/about>>. Acesso em 03 ago. 2023.

NELSON, Richard R. (Ed.). **National Innovation Systems: A Comparative Analysis**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1993.

NELSON, Richard R. **The Simple Economics of Basic Scientific Research**. *Journal of Political Economy*, vol. 67, no. 3, 1959, pp. 297–306. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1827448>>. Acesso em 19 Apr. 2023.

O'ROURKE, K. H. (2000). **Tariffs and Growth in the Late 19th Century**. *The Economic Journal*, 2000, 110(463), 456–483. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2566243>>. Acesso em 25 abr. 2023.

OWENS, L. **The Counterproductive Management of Science in the Second World War: Vannevar Bush and the Office of Scientific Research and Development**. *Business History Review*, 1994, 68(04), 515–576. doi:10.2307/3117197.

PIKE, Francis. **Hirohito's War: The Pacific War, 1941-1945**. Nova Iorque: Bloomsbury, 2016.

POLANYI, Karl. **A Grande Transformação: as Origens de nossa Época**. Tradução: Fanny Wrabel. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

REED, Bruce C. **The History and Science of the Manhattan Project (2ª ed)**. Undergraduate Lecture Notes in Physics Series. Nova Iorque: Springer, 2019.

REED, Bruce C. **The Physics of the Manhattan Project (3ª ed)**. Nova Iorque: Springer, 2015.

RENTETZI, Maria. **Seduced by Radium: How industry transformed Science in the American Marketplace**. Pittsburg: University of Pittsburg Press, 2022.

RESENDE, Caio Cordeiro de. **Falhas de Mercado: Uma Análise Comparativa da Escola do Setor Público Tradicional e da Escola Austríaca**. Tese (Mestrado em Economia) – UnB. Brasília, 2012.

RHODES, Richard. **Dark Sun: The Making of The Hydrogen Bomb**. Nova Iorque: Simon & Schuster, 1995.

RHODES, Richard. **The Making of the Atomic Bomb (25th Anniversary Edition)**. New York: Simon & Schuster Paperbacks, 2012.

ROBERTS, Andrew. **A Tempestade da Guerra**. Tradução: Joubert de Oliveira Brízida. Rio de Janeiro: Record, 2012.

ROBERTS, J. M.; WESTAD, O. E. **The History of the World (6ª ed)**. Nova Iorque: Oxford University Press, 2013.

RUEBHAUSEN, Oscar M.; MEHREN, Robert B. von. **The Atomic Energy Act and the Private Production of Atomic Power**. *Harvard Law Review*, Vol. 66, No. 8 (jun. 1953).

RUTTAN, Vernon W. **Is War Necessary for Economic Growth? Military Procurement and Technology Development**. Nova Iorque: Oxford university Press, 2006.

SCHUMPETER, Joseph A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico: Uma Investigação sobre Lucros, Capital, Crédito, Juro e o Ciclo Econômico**. Tradução: Maria Sílvia Possas. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1997.

SCHWARTZ, Stephen I. **Atomic Audit: The Costs and Consequences of U.S. Nuclear Weapons since 1940**. Washington, D. C.: Brookings Institution Press, 1998.

SMITH, Adam. **A Riqueza das Nações: Investigação sobre sua Natureza e suas Causas**. Vol. 1. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1996.

STEWART, Irvin. **Organizing Scientific Research for War: The Administrative History of the Office of Scientific Research and Development**. Boston: Little, Brown and Company, 1948.

SWANSON, Michael. **The War State: The Cold War Origins of The Military-Industrial Complex and The Power Elite, 1945-1963**. E-book da Amazon formatado por Guido Henkel, 2013.

TOOZE, J. Adam. **O Preço da Destruição: Construção e Ruína da Economia Alemã**. Tradução: Sérgio Duarte. Rio de Janeiro: Record, 2013.

UNITED STATES NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (USNRC). **The Atomic Energy Act of 1954**. In: Nuclear Regulatory Legislation – 113º Congresso; 2ª Sessão. Promulgado em 30 de agosto de 1954. Disponível em: <<https://www.nrc.gov/docs/ML1536/ML15364A497.pdf>>. Acesso em 29 mar. 2023.

UNIVERSITY OF CAMBRIDGE. **About the University: Nineteenth and twentieth centuries**. Disponível em: <<https://www.cam.ac.uk/about-the-university/history/nineteenth-and-twentieth-centuries>>. Acesso em 13 jun. 2023.

USSELMAN, S. W. **Patents Purloined: Railroads, Inventors, and the Diffusion of Innovation in 19th-Century America**. *Technology and Culture*, 1991, 32(4), 1047. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3106161>>. Acesso em 25 abr. 2023.

WALTZ, Kenneth. **Man, the State, and War: A Theoretical Analysis**. Nova Iorque: Columbia University Press, 2001.

WALTZ, Kenneth. **Theory of International politics**. Long Grove: Waveland press, 2010.

WEINBERG, Gerhard L. **A World at Arms: A Global History of World War II**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 1994.

WEINTRAUB, Roy E. **Neoclassical Economics**. In: *The Fortune: Encyclopedia of Economics*, editado por Henderson, David R. Nova Iorque: Warner Books, 1993.