



ITER

Os caminhos da energia de fusão e o Brasil

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES

Ministro de Estado Embaixador Mauro Luiz Jecker Vieira
Secretário-Geral Embaixador Sérgio França Danese

FUNDAÇÃO ALEXANDRE DE GUSMÃO



Presidente Embaixador Sérgio Eduardo Moreira Lima

*Instituto de Pesquisa de
Relações Internacionais*

Diretor Embaixador José Humberto de Brito Cruz

*Centro de História e
Documentação Diplomática*

Diretor Embaixador Maurício E. Cortes Costa

*Conselho Editorial da
Fundação Alexandre de Gusmão*

Presidente Embaixador Sérgio Eduardo Moreira Lima

Membros Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg
Embaixador Jorio Dauster Magalhães e Silva
Embaixador Gonçalo de Barros Carvalho e Mello Mourão
Embaixador José Humberto de Brito Cruz
Embaixador Julio Glinernick Bitelli
Ministro Luís Felipe Silvério Fortuna
Professor Francisco Fernando Monteoliva Doratioto
Professor José Flávio Sombra Saraiva
Professor Eiiti Sato

A *Fundação Alexandre de Gusmão*, instituída em 1971, é uma fundação pública vinculada ao Ministério das Relações Exteriores e tem a finalidade de levar à sociedade civil informações sobre a realidade internacional e sobre aspectos da pauta diplomática brasileira. Sua missão é promover a sensibilização da opinião pública nacional para os temas de relações internacionais e para a política externa brasileira.

Augusto Pestana

ITER

Os caminhos da energia de
fusão e o Brasil



FUNDAÇÃO
ALEXANDRE
DE GUSMÃO

Brasília, 2015

Direitos de publicação reservados à
Fundação Alexandre de Gusmão
Ministério das Relações Exteriores
Esplanada dos Ministérios, Bloco H
Anexo II, Térreo
70170-900 Brasília-DF
Telefones:(61) 2030-6033/6034
Fax:(61) 2030-9125
Site: www.funag.gov.br
E-mail: funag@funag.gov.br

Equipe Técnica:

Eliane Miranda Paiva
Fernanda Antunes Siqueira
Gabriela Del Rio de Rezende
Luiz Antônio Gusmão
André Luiz Ventura Ferreira

Projeto Gráfico e Capa:

Yanderson Rodrigues

Programação Visual e Diagramação:

Gráfica e Editora Ideal

Impresso no Brasil 2015

P476 Pestana, Augusto.

ITER, os caminhos da energia de fusão e o Brasil / Augusto Pestana. - Brasília :
FUNAG, 2015.

376 p. - (Coleção CAE)

ISBN 978-85-7631-572-8

Trabalho apresentado originalmente como tese, aprovada no LIX Curso de Altos
Estudos do Instituto Rio Branco, em 2014.

1. Fusão nuclear - aspectos históricos. 2. Organização Internacional de Energia de
Fusão ITER (OI-ITER). 3. Cooperação internacional. 4. Comunidade Europeia de Energia
Atômica (Euratom). 5. Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). 6. Agência
Internacional de Energia (AIE). 7. Fusão nuclear - atuação - Brasil. I. Título. II. Série.

CDD 333.7924

Depósito Legal na Fundação Biblioteca Nacional conforme Lei nº 10.994, de 14/12/2004.

Para Rafaela e Virgínia,
futuro do Brasil.



Scientia vincet [“pela ciência, vencerás”]
Lema da Universidade de São Paulo



Agradecimentos

O presente trabalho não teria sido possível sem o encorajamento, a generosidade e a amizade de um grande círculo de mentores, colegas e fontes de inspiração. Gostaria de agradecer, em especial, ao professor doutor Ricardo Osório Magnus Galvão, aos embaixadores Laércio Antonio Vinhas e Hadil Fontes da Rocha Vianna e aos engenheiros Leonam dos Santos Guimarães e Alejandro Zurita Centelles, pelas informações e orientações; à ministra Helena Chagas, aos embaixadores André Mattoso Maia Amado, André Aranha Corrêa do Lago, Tovar da Silva Nunes e Roberto Abdalla e ao ministro Rodrigo de Lima Baena Soares, pelas oportunidades e pela confiança; aos ministros Luís Felipe Silvério Fortuna e Ademar Seabra da Cruz Junior, ao conselheiro Luís Guilherme Parga Cintra e ao primeiro-secretário Daniel Machado da Fonseca, pelas sugestões e revisões; aos embaixadores Gonçalo de Barros Carvalho e Mello Mourão, Fernando Paulo de Mello Barreto, Mariangela Rebuá de Andrade Simões e Pedro Henrique Lopes Borio, ao professor doutor Gilberto de Martino Jannuzzi e ao oficial

de chancelaria Henrique Madeira Garcia Alves, pelo apoio e pelas palavras benevolentes durante o LIX Curso de Altos Estudos do Instituto Rio Branco; a meus pais, pelos valores e pela educação; e a Elaine, Virgínia e Rafaela, por tudo.

Apresentação

Este livro é resultado da tese apresentada e defendida em 2014 na 59ª edição do Curso de Altos Estudos do Instituto Rio Branco, um exemplo da importância atribuída pelo Ministério das Relações Exteriores à contínua formação e aperfeiçoamento dos diplomatas brasileiros. O escopo do trabalho é a cooperação internacional em fusão nuclear, o estudo de caso da organização internacional criada em 2006 para demonstrar a viabilidade científica e tecnológica de um reator de energia de fusão, a OI-ITER (*iter*, “caminho” em latim), e a análise das implicações desse projeto para o Brasil e do papel que o Itamaraty poderá desempenhar na promoção de nossa mais ampla capacitação nesse e em outros campos do conhecimento.

A fusão nuclear encontra-se na origem da energia do Sol e das demais estrelas. Seu domínio prático e controlado na Terra asseguraria uma fonte limpa, segura e virtualmente inesgotável à humanidade, pois permitiria utilizar o hidrogênio contido na água para a geração de eletricidade – em um processo muito diferente da energia nuclear “convencional”, baseada na fissão de elementos radioativos como o urânio. No entanto, os desafios tecnológicos e industriais da fusão

são gigantescos e, apesar de sete décadas de pesquisa, ainda não foram vencidos por nenhum país.

A longa jornada em busca da energia de fusão controlada está hoje um pouco mais próxima de seu destino graças ao estabelecimento da OI-ITER, cujos membros fundadores são a Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom), a China, os EUA, a Índia, o Japão, a República da Coreia e a Rússia. Seus integrantes incluem, portanto, todos os membros permanentes do Conselho de Segurança da ONU, três dos Brics (Rússia, China e Índia) e nove das dez maiores economias do mundo em 2014 (a única exceção é o Brasil). Singularizada por seus inovadores e complexos mecanismos de financiamento e de compras, a Organização ITER parece fadada a servir de modelo de como fazer – ou, para alguns, de como não fazer – um grande projeto de cooperação internacional em ciência e tecnologia.

A entrada do Brasil na OI-ITER chegou a ser cogitada na década passada, mas o governo brasileiro optou por uma abordagem pragmática e gradual que previa, em paralelo ao fortalecimento da pesquisa nacional sobre fusão, a assinatura de acordo de cooperação bilateral com a Euratom, o principal participante do projeto. Em contraste com os membros da Organização ITER, o Brasil tem à disposição diversas alternativas para ampliar a oferta interna de energia nas próximas décadas. Os motivos que explicam nossa ausência não significam, porém, que devemos ficar alheios aos rumos da energia de fusão e à formação desse novo “clube” internacional de conhecimento – entre outras razões, pelo fato de que os supercondutores de um reator de fusão como o ITER consumirão grandes quantidades de nióbio, metal que tem 98% de suas reservas mundiais concentradas no território brasileiro.

Este trabalho espera contribuir, portanto, para o melhor conhecimento da OI-ITER e da dimensão internacional da energia de fusão, além de recomendar linhas de ação para que o Brasil – em esforço conjunto de governo, academia e indústria – não fique à margem de uma iniciativa científico-tecnológica com evidentes impactos geopolíticos e geoeconômicos.

Depois de uma introdução que busca situar o problema e demonstrar sua relevância para as relações internacionais e para a política externa brasileira, “ITER: os caminhos da energia de fusão e o Brasil” oferece em seu primeiro capítulo um esboço histórico da evolução da ciência e da principal rota tecnológica da fusão nuclear controlada no contexto da Guerra Fria, oscilando da rivalidade à cooperação e culminando no projeto ITER. Esse capítulo trata também da bomba de hidrogênio – a comprovação de que a fusão, em termos práticos e experimentais, é possível na Terra – e das “explosões termonucleares para fins pacíficos”, bem como do confinamento inercial a *laser* e das rotas falsas, incluindo o programa argentino do primeiro governo Perón e a fusão a frio – exemplos da perigosa combinação das ambições políticas ou econômicas com a ciência inescrupulosa.

O segundo capítulo proporciona a descrição e a análise mais detida do arcabouço jurídico-institucional da Organização ITER, com base em seu acordo constitutivo de 2006, bem como faz avaliação crítica sobre sua estrutura e seu *modus operandi*, com base em recente relatório independente de gestão. Os inovadores mecanismos de financiamento e de compras são discutidos em detalhe, pois evidenciam o caráter *sui generis* do projeto. Seu forte componente de mobilização do desenvolvimento

tecnológico e industrial das Partes é ilustrado por meio da descrição dos sistemas do reator, que é, afinal, o objeto central da organização.

O terceiro capítulo esmiúça os programas de fusão dos membros da OI-ITER – seja por meio da atuação de suas Agências Domésticas, seja nas linhas de pesquisa complementares ou paralelas a Cadarache – e suas diferentes motivações. As Partes do acordo constitutivo de 2006 representam cerca da metade da população e 72% do Produto Interno Bruto mundial, mais de dois terços do consumo global de energia e eletricidade e aproximadamente 90% da geração nucleolétrica no planeta. Atenção particular é dada à Euratom, verdadeiro pilar do ITER e a única Parte com a qual o Brasil mantém instrumento bilateral específico na área de energia de fusão. O papel de atores como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Agência Internacional de Energia (AIE) também é abordado nesse capítulo.

O quarto capítulo trata dos próximos passos internacionais rumo à aplicação prática da energia de fusão nuclear. Inclui a análise da chamada “Abordagem Ampla” (*Broader Approach*), cooperação entre europeus e japoneses que prevê o funcionamento da Instalação Internacional para a Irradiação de Materiais de Fusão (IFMIF) e do Centro Internacional de Pesquisa em Energia de Fusão (IFERC), e do provável cenário “multi-DEMO”, pelo qual os atuais membros da OI-ITER deverão seguir seus próprios caminhos na elaboração dos pioneiros reatores de demonstração e, na sequência, das primeiras usinas nucleares de fusão. O capítulo conclui com avaliação sobre a motivação última da energia de fusão, suas perspectivas de viabilidade econômica e suas implicações para o desenvolvimento sustentável.

O quinto capítulo é dedicado à situação da energia de fusão no Brasil, suas motivações e suas origens na pesquisa em física de plasmas iniciada em 1974, simultaneamente em São Paulo (USP e Unicamp) e no Rio Grande do Sul (UFRGS). As perspectivas abertas pelo acordo de cooperação assinado com a Euratom em 2009 são objeto de consideração prioritária, em particular no contexto dos próximos passos da energia de fusão. O capítulo contém, ainda, breve análise sobre as perspectivas do nióbio, quase um monopólio brasileiro, como insumo essencial para a operação de grandes reatores na linha do ITER.

A conclusão oferece sugestões concretas para a ação do Brasil e reflexões sobre as inovações da Organização ITER, bem como sobre as grandes expectativas em torno da energia de fusão, muitas vezes irrealistas. A fusão nuclear é, vale reiterar, uma promessa e, como tal, não oferece respostas aos desafios imediatos da mudança do clima; tampouco tem condições de constar de algum plano energético factível, cujo alcance dificilmente irá além de 2050. Por outro lado, em comparação com a energia nuclear “convencional”, de fissão, tem a vantagem de utilizar um combustível praticamente inesgotável, oferecer maior segurança de operação e nenhum risco real de proliferação. O papel da energia de fusão poderá ser muito relevante no encaminhamento de questões como o aquecimento global ou o esgotamento de fontes fósseis como o petróleo, mas está claramente reservado à segunda metade do corrente século.

O eventual domínio prático da energia de fusão passará, obrigatoriamente, por planejamento de longuíssimo prazo, cooperação internacional e políticas públicas robustas em educação, pesquisa e inovação. Ao Itamaraty

caberá analisar as implicações internacionais dos caminhos da energia de fusão, e contribuir para nosso melhor posicionamento possível nessa jornada – o que dependerá de estratégias nacionais ambiciosas, mas, ao mesmo tempo, factíveis e persistentes. A energia de fusão é apenas um entre tantos exemplos de como a diplomacia e a ciência poderão, juntas, contribuir para a construção de um Brasil cada vez mais sustentável, próspero e inclusivo no plano interno – e competitivo no externo.

Cumprе mencionar, por fim, que todas as opiniões e sugestões aqui contidas são contribuições pessoais minhas, e não refletem necessariamente a posição oficial do Governo brasileiro ou do Ministério das Relações Exteriores.

Augusto Pestana

Tóquio, 4 de maio de 2015.

Sumário

Lista de siglas e abreviaturas	21
Introdução	29
Fusão nuclear: grande ciência, grandes expectativas.....	32
OI-ITER: uma organização internacional para a energia de fusão	37
1. Antecedentes: uma breve história da energia de fusão	49
1.1. Primórdios: da energia do Sol às explosões termonucleares na Terra.....	49
1.2. PNEs: a fusão nuclear descontrolada para “fins pacíficos”	58
1.3. Fusão na América do Sul: Perón, Richter e a ficção nuclear de Huemul.....	63
1.4. Jogos olímpicos do plasma: cooperação e rivalidade na Guerra Fria.....	73
1.5. Da União Soviética para o mundo: a era dos <i>tokamaks</i>	81
1.6. As cúpulas Reagan-Gorbatchov: os primeiros passos do ITER.....	90

1.7. Outras rotas tecnológicas: vias inerciais e sem-saída.....	97
2. O caminho: a Organização Internacional ITER	103
2.1. Estrutura da OI-ITER.....	107
2.2. Mecanismos de financiamento e de compras.....	116
2.3. Mecanismo de avaliação da gestão	124
2.4. Propriedade intelectual	133
2.5. Cooperação internacional	136
2.6. Adesão e denúncia	139
2.7. Solução de controvérsias	142
2.8. O núcleo da OI-ITER: o reator experimental de Cadarache	144
3. Os atores: membros da OI-ITER, agências domésticas e organizações internacionais relevantes	157
3.1. Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom)	159
3.2. China	174
3.3. Estados Unidos	180
3.4. Federação Russa.....	187
3.5. Índia	192
3.6. Japão	196
3.7. República da Coreia	201
3.8. Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) ..	207
3.9. Agência Internacional de Energia (AIE)	210
4. O destino: rumo à “era da energia de fusão”	213
4.1. Próximos passos: a “Abordagem Ampla” e o cenário “multi-DEMO”	214
4.2. O porquê da energia de fusão: entre a panaceia e a quimera.....	219

5. O caminho do Brasil	231
5.1. A energia de fusão no Brasil: do TBR-1 à criação da RNF	238
5.2. Acordo Brasil-Euratom de 2009: uma “trilha” para o ITER e o pós-ITER	248
5.3. Reatores de fusão: um novo destino para o nióbio brasileiro?	260
Conclusão: o Brasil na encruzilhada da energia de fusão	267
Referências	281
Anexos	299
Anexo 1 – Glossário técnico	301
Anexo 2 – Cronologia da energia de fusão	307
Anexo 3 – Quadro sinótico dos membros da OI-ITER....	314
Anexo 4 – Mapas.....	316
Anexo 5 – Principais rotas tecnológicas da energia de fusão	319
Anexo 6 – Acordos	325



Lista de siglas e abreviaturas

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AD – Agência Doméstica de um membro da OI-ITER
ADM – Departamento de Administração da OI-ITER
AEC – Comissão de Energia Atômica (EUA)
AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica
AIE – Agência Internacional de Energia
ASIPP – Instituto de Física de Plasmas da China
BA – Acordo de “Abordagem Ampla” entre Euratom e Japão
BAUA – Unidade de Conta da “Abordagem Ampla”
BEM – Balanço Energético Nacional
Brasemb – Embaixada do Brasil no exterior
Braseuropa – Delegação do Brasil junto à União Europeia
Brics – Grupo Brasil-Rússia-Índia-China-África do Sul
CANDU – Reatores Canadenses de Deutério-Urânio
CAS – Academia Chinesa de Ciências
CBPF – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração
CCS – Captura e Armazenamento de Carbono

CECA – Comunidade Europeia do Carvão e do Aço
CEE – Comunidade Econômica Europeia
CERN – Organização Europeia para Pesquisa Nuclear
CFETR – Reator Teste de Engenharia de Fusão da China
CGEN – Coordenação-Geral dos Usos Pacíficos da Energia Nuclear (MRE)
CINFEPEC – AD da China
CNEA – Comissão Nacional de Energia Atômica (Argentina)
CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNNC – Empresa Nacional Nuclear Chinesa
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico-Tecnológico
CODAC – Sistema de controle, acesso a dados e comunicação
Coreper – Conselho de Representantes Permanentes dos membros da UE
CTBT – Tratado para Proibição Completa dos Testes Nucleares
CTC/RNF – Comitê Técnico-Científico da Rede Nacional de Fusão
DAE – Departamento de Energia Atômica (Índia)
DCT – Departamento de Temas Científicos e Tecnológicos (MRE)
DCTEC – Divisão de Ciência e Tecnologia (MRE)
DEMO – Reator de demonstração de fusão nuclear
DEMO-FNS – Reator de demonstração de fusão-fissão
DG – Diretor-Geral
DG-RTD – Direção-Geral de Pesquisa e Inovação da

Comissão Europeia
DIP – Departamento do Projeto ITER
DOE – Departamento de Energia (EUA)
DT – Combustível deutério-trítio
EAST – *Tokamak* Supercondutor Experimental Avançado (China)
ECRH – Aquecimento por ressonância ciclotrônica eletrônica
EEL – Escola de Engenharia de Lorena (USP)
EFDA – Acordo Europeu para o Desenvolvimento da Fusão
ELM – *Edge localized modes* (uma das instabilidades do plasma)
Embrapii – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ESO – Observatório Austral Europeu
ETE – Experimento *Tokamak* Esférico (Inpe)
EUA – Estados Unidos da América
Euratom – Comunidade Europeia de Energia Atômica
EUROFUSION – Consórcio Europeu de Fusão (novo nome do EFDA)
FAB – Diretoria de Auditoria Financeira da OI-ITER
Fapesp – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FESAC – Comitê Assessor de Ciências da Energia de Fusão (EUA)
Finep – Financiadora de Estudos e Projetos
FPCC – Comitê de Coordenação de Energia de Fusão (AIE)
F4E – Fusion for Energy (AD da EURATOM)
GA – General Atomics (empresa estadunidense)

ICRH – Aquecimento por ressonância ciclotrônica iônica
IFERC – Centro Internacional de Pesquisa em Energia de Fusão (BA)
IFMIF – Instalação Internacional para a Irradiação de Materiais de Fusão (BA)
IFRC – Conselho Internacional de Pesquisa de Fusão (AIEA)
Inpe – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
INTOR – Reator *Tokamak* Internacional (*workshop* da AIEA)
Ipen – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
ISS – Estação Espacial Internacional
ITER – Reator Termonuclear Experimental Internacional
ITER-FEAT – ITER *Fusion Energy Advanced Tokamak*
ITER-India – AD da Índia
ITER-Korea – AD da República da Coreia
INVAP – Empresa Argentina de Pesquisa Aplicada
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPR – Instituto de Pesquisa de Plasmas da Índia
ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica
ITPA – Comitê Internacional de Física de *Tokamaks*
IUA – Unidade de Conta ITER
JAEA – Agência Japonesa de Energia Atômica
JET – Toroide Europeu Conjunto
JT-60 – Japanese *Tokamak* 60
KAERI – Instituto Sul-Coreano de Pesquisa em Energia Atômica
KEPCO – Companhia Sul-Coreana de Energia Elétrica

K-DEMO – Reator Sul-Coreano de demonstração
K-STAR – *Tokamak* Supercondutor Sul-Coreano para
Pesquisa Avançada
LFN – Laboratório de Fusão Nuclear
LFP – Laboratório de Física de Plasmas (USP)
LHC – Grande Colisor de Hádrons (CERN)
MAC – Comitê Assessor de Gestão da OI-ITER
MCTI – Ministério da Ciência, tecnologia e Inovação
MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e
Comércio Exterior
MEC – Ministério da Educação
MEXT – Ministério da Educação, Cultura, Ciência e
Tecnologia (Japão)
MIIFED – Conferência Internacional de Fusão Monaco-
ITER
MID – Ministério dos Negócios Estrangeiros (Rússia)
MIT – Instituto Tecnológico de Massachusetts
MME – Ministério de Minas e Energia
MOST – Ministério da Ciência e Tecnologia (China)
MRE – Ministério das Relações Exteriores
NIF – Instalação Nacional de Ignição (EUA)
NFRI – Instituto Nacional de Pesquisa em Fusão
(República da Coreia)
NOVA – *Tokamak* da Unicamp
NRDC – Comissão Nacional de Desenvolvimento e
Reforma (China)
NSG – Grupo de Supridores Nucleares
OCDE – Organização para a Cooperação e
Desenvolvimento Econômico

ODS-EUROFER – Liga especial de aço de baixa ativação
OI-ITER – Organização Internacional de Energia de Fusão
ITER
PA – Arranjo licitatório do ITER
PLT – Grande Toroide de Princeton (EUA)
PNE – Explosão nuclear pacífica
PNE-2030 – Plano Nacional de Energia (MME)
PNM-2030 – Plano Nacional de Mineração (MME)
RMB – Reator Multipropósito Brasileiro
RNF – Rede Nacional de Fusão
ROSATOM – Empresa russa de energia nuclear e AD da Rússia
SAGNE – Grupos Assessor Permanente sobre Energia Nuclear do DG-AIEA
SGAET – Subsecretaria-Geral de Meio Ambiente, Energia e C&T (MRE)
SET-PLAN – Plano de Tecnologias Estratégicas de Energia da União Europeia
SNS – Fonte de Espalação de Nêutrons (EUA)
SQS – Departamento de Qualidade e Segurança da OI-ITER
SST-1 – *Tokamak* Supercondutor Indiano
SWIP – Instituto de Física do Sudoeste da China
STAC – Comitê Assessor de Ciência e Tecnologia da OI-ITER
TBM – Testes dos Módulos da Camada Fértil
TBM-PC – Comitê do Programa de Testes dos Módulos da Camada Fértil
TBR-1 – *Tokamak* Brasileiro 1 (USP, primeiro *tokamak* da América Latina)

TCABR – *Tokamak Chauffage Alfven Brasileiro* (USP)
TFTR – Reator Teste de Fusão *Tokamak* (EUA)
TNP – Tratado de Não-Proliferação Nuclear
Tokamak – Câmara toroidal com bobinas magnéticas
EU – União Europeia
UESC – Universidade Estadual de Santa Cruz (BA)
URSS – União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UFF – Universidade Federal Fluminense
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNCITRAL – Comissão das Nações Unidas para o Direito
Comercial Internacional
Unicamp – Universidade Estadual de Campinas
US-ITER – AD dos Estados Unidos
USTC – Universidade Chinesa de Ciência e Tecnologia
USP – Universidade de São Paulo
WNA – Associação Nuclear Mundial
ZETA – Reator inglês *Zero Energy Thermonuclear Assembly*



Introdução

Se voltarmos bastante no tempo, veremos o primeiro homem saindo da caverna e se surpreendendo com o nascer do Sol. Foi o primeiro encontro da humanidade com um reator de fusão. [...] É claro que o homem primitivo ficou impressionado com a luz e com o calor, e, sendo humano, perguntou: “Como eu consigo um desses?” (N. SAUTHOFF, físico¹)

O ano de 1905 foi especial para a ciência e para as relações internacionais. Marcou a ascensão do Japão ao centro do poder mundial após a vitória na Guerra Russo-Japonesa, o que evidenciou não somente os anacronismos e debilidades do regime tsarista², mas, sobretudo, a possibilidade de um país asiático ingressar no clube das grandes potências globais, algo que parecia ser, até bem pouco tempo, virtual exclusividade de europeus. Para a política externa brasileira, sob a orientação do Barão do Rio Branco, trouxe exemplo pragmático de adaptação às novas configurações da geopolítica e da geoeconomia: a elevação de patamar no relacionamento com os Estados Unidos da América, a outra potência emergente da época, por meio do estabelecimento recíproco de representações diplomáticas com nível de Embaixada, gesto de forte significado para os padrões do início do século XX. Eram sinais e reconhecimentos da natureza essencialmente mutável das relações internacionais, o que seria demonstrado de modo ainda mais enfático pelas duas grandes guerras mundiais subsequentes.

1 Revista “The New Yorker”, 3 de março de 2014. Tradução do autor.

2 A revolução russa desse ano serviria, a propósito, de ensaio para a revolução de 1917.

Também em 1905, o Rio de Janeiro recebeu o que poderíamos considerar como seu primeiro grande evento internacional: o III Congresso Científico Latino-Americano, parte da estratégia do Itamaraty de aproximação e de fortalecimento da confiança entre o Brasil republicano e seus vizinhos. Ao abrir o encontro, em 6 de agosto, Rio Branco afirmou que

a mais útil consequência dos congressos internacionais de cientistas é a formação do comércio intelectual entre homens que, entregues aos mesmos trabalhos e pesquisas, travam entre si conhecimentos nessas reuniões, e, pelo que podem ver e estudar, ficam habilitados para, em suas pátrias, embora incidentemente no terreno da política, desfazer preconceitos e dissipar mal-entendidos, colaborando destarte na grande obra da pacificação dos espíritos e da amizade entre as nações³.

Além de apontar a importância da ciência como instrumento da ação diplomática, o então chanceler brasileiro salientou seu papel como vetor do que hoje chamaríamos de desenvolvimento e disse ser indispensável que “antes de meio século, quatro ou cinco, pelo menos, das maiores nações da América Latina, por nobre emulação, cheguem, como a nossa grande e querida irmã do norte, a competir em recursos com os mais poderosos Estados do mundo”⁴.

Evidentemente, o III Congresso Científico Latino-Americano não foi o fato relevante daquele ano para a ciência. Apesar do seminal discurso de Rio Branco e da imagem positiva plasmada pelo Brasil junto às delegações estrangeiras, o encontro no Rio de Janeiro⁵ serviu como indicador do atraso relativo dos países da região, que estavam a muito mais de cinquenta anos de emular a “querida irmã do norte” ou os demais “poderosos Estados do mundo”, e a anos-luz daquele que foi,

3 RIO BRANCO. *Obras do Barão do Rio Branco*, v. IX, p. 127.

4 *Ibid.*, p. 128.

5 Para análise mais abrangente do pronunciamento de Rio Branco, *vide* RICUPERO, Rubens. *Rio Branco: o Brasil no mundo*, p. 61-62. Para análise do congresso, *vide* SUPPO, Hugo Rogélio. *Ciência e relações internacionais: o congresso de 1905* (artigo).

certamente, o mais transcendental evento de 1905 – demonstração cabal de que o conhecimento, assim como as relações internacionais, não é estático. Ao publicar, em intervalo de poucos meses, série de artigos na revista científica alemã “Annalen der Physik”, Albert Einstein ofereceria contribuição decisiva para uma verdadeira revolução conceitual no entendimento do ser humano sobre tempo, espaço, energia e matéria⁶. Esse novo paradigma científico⁷ possibilitou o desenvolvimento de inúmeras aplicações práticas, tecnologias e inovações, incluindo a do tipo de armamento que, quarenta anos mais tarde, marcou o fim das ambições militares e imperialistas dos vencedores da Guerra Russo-Japonesa.

A compreensão e o domínio da energia nuclear, fonte do poder destrutivo das bombas lançadas pelos Estados Unidos sobre o Japão em 1945, devem muito ao último dos artigos de Einstein, escrito em setembro de 1905, que propõe em três páginas uma teoria tão simples quanto extraordinária –, a de que massa e energia são equivalentes –, magistralmente resumida na que talvez seja a mais famosa de todas as equações da física: $E=mc^2$. A dedução de Einstein não teria sido possível sem o trabalho precedente de Henri Becquerel e do casal Marie e Pierre Curie na descoberta da radioatividade, que lhes valeu o prêmio Nobel de física de 1903. Em poucas décadas, graças à pesquisa de outros cientistas igualmente prodigiosos (quase todos nascidos e formados na Europa, diga-se), a teoria fora comprovada na prática, e o ser humano soube que a energia contida no núcleo dos átomos – resultante da mais intensa de todas as forças fundamentais da natureza – pode ser liberada, para o bem ou para o mal, por meio de duas principais reações: a fissão de um núcleo pesado (de elementos como o urânio ou o tório) ou a fusão de dois núcleos leves (como os do hidrogênio, o mais leve e mais abundante elemento do universo).

6 NEFFE, Jürgen. *Einstein: uma biografia*, p. 184-187.

7 O conceito de “paradigma” foi cunhado pelo estadunidense Thomas Kuhn em sua célebre obra “A Estrutura das Revoluções Científicas”.

Fusão nuclear: grande ciência, grandes expectativas

O tema da fissão nuclear é aqui tratado apenas de forma tangencial, pois a energia que nos interessa é a liberada pelas reações de fusão, a “outra” energia nuclear⁸, muito mais poderosa que a de fissão e muito mais comum na natureza. Afinal, como resumido pelos físicos McCracken e Stott, “a fusão é a fonte de toda a energia das estrelas”, além de ser “responsável pela formação de todos os elementos a partir do hidrogênio primordial”⁹. No interior do Sol, que dista em média 150 milhões de quilômetros da Terra, o hidrogênio encontra-se confinado pelas forças gravitacionais em altíssimas condições de pressão e densidade, a temperaturas superiores a dez milhões de graus centígrados e no estado de plasma, o quarto estado da matéria (no qual os elétrons podem circular separados de seus núcleos atômicos). São essas as condições necessárias para desencadear a sequência de reações solares de fusão que resultará em dois “produtos” principais: o hélio, um gás inerte e não radioativo, e enormes quantidades de energia – a mesma energia que chega a nós todos os dias na forma de luz e calor¹⁰.

De maneira nada poética, mas cientificamente precisa, como aponta a epígrafe, o Sol pode ser descrito como um gigantesco reator natural de fusão nuclear. A verdadeira “energia solar” é a fusão, que está, por conseguinte, na gênese do poder energético de toda a biomassa, de todas as reservas de carvão, petróleo e gás natural, de toda a chuva que preenche os reservatórios das hidroelétricas,

8 Os termos “fusão nuclear” e “energia de fusão” são aqui tratados como sinônimos por razões práticas. Tecnicamente, o primeiro se refere à reação, enquanto o segundo, à energia dela decorrente. Por motivos de aceitação pública, os principais defensores da fusão preferem utilizar sempre o primeiro termo, a fim de evitar associação com a “energia nuclear convencional”, baseada nas reações de fissão.

9 McCracken, Garry; Stott, Peter. *Fusion: the energy of the universe*, p. 32. Em nota metodológica, vale recordar que este é um livro de relações internacionais. As informações técnico-científicas são apresentadas de forma resumida e somente na medida de sua relevância à compreensão do problema do ponto de vista diplomático. Alguns termos ou conceitos são explicados apenas no glossário em anexo.

10 *Ibid.*, p. 20-24. As altas temperaturas e densidades permitem que dois núcleos de hidrogênio (carga elétrica positiva) superem as forças coulombianas (“opostos se atraem, iguais se repelem”) e se combinem graças à força nuclear forte. A maior parte da energia resultante (80%) é “carregada” por nêutrons rápidos. Os demais 20% acompanham os recém-formados núcleos de hélio (as “partículas alfa”).

de todo o vento que move os rotores eólicos e de cada watt gerado pelos painéis fotovoltaicos – ou seja, de quase todas as fontes de energia disponíveis neste planeta, pela via fóssil ou renovável. Essa energia gerada inicialmente no “reator Sol” responde por 94% da atual matriz energética global¹¹ e está, por sua vez, no centro da geopolítica e da geoeconomia internacionais há quase um século – e talvez já o estivesse antes mesmo do ano em que o Japão venceu a Rússia em Tsushima, o Brasil abriu sua primeira Embaixada em Washington, o Rio de Janeiro recebeu a comunidade científica latino-americana e Einstein lançou os fundamentos da física moderna.

É fácil imaginar o avassalador impacto do domínio prático e controlado da fusão nuclear para a geração de energia na Terra, assegurando fonte virtualmente inesgotável à humanidade – ou, pelo menos, aos detentores dessa tecnologia de “estrelas artificiais”, que transformaria o hidrogênio contido na água dos oceanos em energia (outro exemplo prático de que como pode ser aplicada a equação de Einstein). Se o caminho trilhado pela fissão nuclear servisse de exemplo, reatores de fusão já seriam realidade há muito tempo. Descoberta em fins de 1938, a fissão alimentou a pilha experimental de Enrico Fermi em dezembro de 1942, proporcionou a primeira explosão nuclear do Projeto Manhattan em julho de 1945 (teste de um artefato de plutônio), destruiu Hiroshima e Nagasaki em agosto desse ano e garantiu a propulsão do submarino nuclear Nautilus já em 1954 – com a tecnologia de água leve pressurizada que foi a base para operação, em 1957, do primeiro reator nuclear dedicado somente à geração de eletricidade¹². Do teste no Novo México ao lançamento da pioneira usina nucleoeletrica comercial, sempre em iniciativas dos Estados Unidos, passaram-se cerca de doze anos.

11 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *2013 Key World Statistics*, p. 6. Os 6% restantes da matriz são majoritariamente produzidos em reatores de fissão nuclear.

12 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Outline history of nuclear energy*, versão de março de 2014. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info>.

Tendo em mente essa notável evolução das aplicações da fissão, sem dúvida acelerada pelo efeito de arraste tecnológico do programa de propulsão nuclear da marinha estadunidense, era de se esperar o rápido desenvolvimento da fusão nuclear controlada após o domínio da fusão nuclear não controlada, isto é, da primeira explosão termonuclear, a “bomba de hidrogênio”, realizada – novamente pelos EUA – em 1º de novembro de 1952 no oceano Pacífico, com força destrutiva centenas de vezes superior à das bombas de 1945¹³. O padrão cronológico do desenvolvimento científico-tecnológico da energia de fissão não se repetiria, no entanto, com a energia de fusão nem em doze nem em sessenta anos, embora motivos políticos e necessidades econômicas e tecnológicas não tenham faltado nesse período: das crises do petróleo de 1973 e 1979 aos acidentes nucleares de 1979, 1986 e 2011 (Three Mile Island, Chernobyl e Fukushima, respectivamente), passando pela progressiva conscientização de governos e sociedades sobre os efeitos da mudança do clima e do uso intensivo de carbono como causa primordial do fenômeno. Em tese, a fusão ofereceria respostas de longo prazo ao provável esgotamento das energias fósseis e ao aquecimento global, tudo com maior segurança de operação, sem riscos de incidentes radioativos graves e quase sem geração de rejeitos nucleares. Como lembra o embaixador Laércio Vinhas, já em 1961, ano de seu ingresso no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, dizia-se que a “fusão seria dentro de trinta anos a solução para os problemas de geração de energia elétrica” e hoje, passado meio século, “continua-se a dizer que será a solução dentro de trinta anos”¹⁴.

Com efeito, pesquisas teóricas e experimentais iniciadas ainda na década de 1940 revelaram que o caminho rumo à aplicação prática, não explosiva, da fusão nuclear é muito mais árduo do que se pensava a princípio. O problema inicial é o de conter, ou confinar, o plasma superaquecido sem poder tocá-lo – questão bem sintetizada por

13 SEIFE, Charles. *Sun in a bottle*, p. 29.

14 Entrevista ao autor, 6 de maio de 2014.

alguns autores como a de “saber engarrafar o Sol”¹⁵. Os obstáculos também incluem, em listagem longe de exaustiva, o comportamento instável e por vezes imprevisível do plasma (que levou ao surgimento de toda uma nova área de especialização científica, a física de plasmas); a dificuldade de seu confinamento prolongado em altíssimas temperaturas (sem a força gravitacional do Sol, a fusão na Terra exige plasmas de mais de cem milhões de graus centígrados); e a capacidade de lidar, por exemplo, com os nêutrons rápidos irradiados pelas reações de fusão (que exigem materiais ultrarresistentes e de baixa ativação, muitos dos quais ainda não inventados)¹⁶. Trata-se de um dos mais instigantes e complexos desafios para cientistas e engenheiros de todo o mundo – e, tal como veremos, também para políticos, gestores e diplomatas. Os óbices, riscos e investimentos são colossais, típicos da chamada “Big Science”¹⁷, mas justificáveis pelo prêmio final: uma energia teoricamente infinita, limpa e segura para um mundo cada vez mais necessitado de alternativas com essas características.

Na segunda metade do século passado e no início deste, quase sempre em espasmos provocados pelas preocupações energéticas ou econômicas do momento, programas e projetos de pesquisa e desenvolvimento em fusão nuclear foram lançados em dezenas de países, incluindo o Brasil. Muitas dessas iniciativas obtiveram avanços palpáveis, ampliando o conhecimento teórico sobre o plasma e demonstrando a viabilidade da fusão em escala laboratorial, enquanto outras se revelaram, com boa vontade, exemplos de má-fé ou de incompetência científica e/ou administrativa – tal como a infame “descoberta da fusão a frio” por dois químicos da Universidade de Utah em 1989¹⁸. O fato é que, até o presente, nenhuma nação

15 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 1 e HERMAN, Robin. *Fusion: the search for endless energy*, p. 20.

16 McCracken, Garry; STOTT, Peter, *op. cit.*, p. 39-42, 51, 138-143.

17 Vide WEINBERG, Alvin M. *Impact of large-scale Science on the United States* (artigo).

18 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 229-233.

conseguiu sequer produzir plasmas com balanço energético positivo¹⁹, pressuposto básico para a viabilidade tecnológica e econômica da geração de eletricidade a partir da fusão. Com eco nos mesmos segmentos políticos e sociais que se opõem à energia nuclear *lato sensu*²⁰, algumas vezes isoladas na comunidade científica arriscam-se a afirmar que, embora viável de um ponto de vista estritamente técnico, a energia de fusão jamais o será do ponto de vista econômico e que, portanto, investimentos ali seriam mero desperdício de dinheiro público²¹. Para a grande maioria, contudo, seja pelo ângulo científico-tecnológico, seja pelo econômico-financeiro, a questão parece não ser tanto o “se”, mas sim o “quando” e, sobretudo, o “como”.

A experiência acumulada ao longo dos últimos sessenta anos logrou restringir as perspectivas de aplicação prática da energia de fusão a duas principais rotas tecnológicas de reatores: a) uma por confinamento magnético, no qual o plasma é contido pelos campos magnéticos gerados por potentes eletroímãs; e b) outra por confinamento inercial, inspirada no mesmo princípio de implosão da bomba termonuclear, só que miniaturizada e com a substituição do “gatilho” de fissão nuclear pelo bombardeio simultâneo de raios *laser* de altíssima potência. Em ambos os casos, o combustível seria uma mistura de deutério e trítio (DT), dois isótopos do hidrogênio (vale esclarecer que o DT não é o gás H₂, candidato a vetor energético da chamada “economia do hidrogênio”, mas que não constitui uma fonte de energia *per se*). O deutério existe em abundância na natureza, não é radioativo e pode ser retirado da água do mar. O trítio precisa ser fabricado (no primeiro tipo de reator, a partir, por exemplo, de uma camada fértil de lítio) e é radioativo, porém com uma meia-vida de

19 Há balanço energético positivo quando a energia liberada pelas reações de fusão é superior à energia utilizada para o aquecimento do plasma. Para esse e outros termos técnicos, *vide* o Glossário (Anexo B).

20 Os verdes europeus, por exemplo, consideram a fusão uma “distração fatal” (*Vide* “Financial Times”, 22 de novembro de 2006).

21 PARKINS, William E. *Fusion power: will it ever come?* (artigo).

doze anos (para comparação, a do urânio-235 é de setecentos milhões de anos)²².

Em tecnologias de tamanha complexidade, simplificações sempre apresentam riscos, mas não seria exagerado dizer que um reator de fusão por confinamento magnético funcionaria à base tão somente de água e de lítio²³ – este um metal abundante e com quase 60% de suas reservas estimadas na América do Sul, sobretudo na Bolívia, no Chile e na Argentina²⁴. As perspectivas mais promissoras são oferecidas pela rota magnética, em especial na configuração de um *tokamak* (acrônimo russo para “câmara toroidal com bobinas magnéticas”), de longe o experimento mais testado, disseminado e bem-sucedido da história da fusão²⁵. Diante das dificuldades citadas mais acima, a extrapolação da escala laboratorial para a industrial ainda depende do desenvolvimento de grande número de tecnologias e inovações – que nenhum esforço nacional isolado parece ter condições de produzir em um horizonte definido de tempo.

OI-ITER: uma organização internacional para a energia de fusão

No espírito do discurso de Rio Branco aos participantes do III Congresso Científico Latino-Americano, seria lícito dizer que, hoje, tanto a ciência pode servir de instrumento para a ação diplomática, quanto a diplomacia pode proporcionar a moldura internacional necessária para o progresso científico, em especial nos casos da “grande ciência”²⁶. Ao analisarmos os desafios da energia nuclear de fusão do ponto de vista das relações internacionais, é fascinante constatar que

22 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, *passim*. Por outro lado, em função do bombardeio de nêutrons ao longo de sua vida útil, o próprio reator ficará radioativo.

23 *Ibid.*, p. 35.

24 SERVIÇO GEOLÓGICO DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. 2014 *Lithium Summary*. Disponível em: <minerals.usgs.gov/minerals>.

25 Mais de duzentos *tokamaks* já foram construídos em todo o mundo. Vide “ITER Newslite”, n. 47, 1º de setembro de 2008.

26 Vide NEUREITER, Norman P. *Science diplomacy in action* (apresentação).

essa longa jornada em busca da emulação do Sol na Terra está mais próxima de seu destino graças à criação de um *locus* diplomático por excelência: uma organização internacional. Este livro tem em seu escopo a análise da estrutura e do funcionamento dessa entidade, a Organização Internacional de Energia de Fusão ITER, que oferece um dos mais interessantes estudos de caso sobre a interação entre as esferas científico-tecnológica e político-diplomática, bem como de suas implicações e oportunidades para o Brasil, país em desenvolvimento que aspira a galgar posições na nova era global do conhecimento, em consonância com suas dimensões e potencialidades.

Resultado de processo negociador iniciado ainda na Guerra Fria, originalmente como instrumento de distensão política entre Washington e Moscou e, depois, como projeto conceitual sob os auspícios da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), a Organização ITER tem como membros fundadores a Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom)²⁷, a China, os Estados Unidos, a Federação Russa, a Índia, o Japão e a República da Coreia. Essas sete Partes – 35 países no total – firmaram o acordo constitutivo da OI-ITER em Paris, em 26 de novembro de 2006. O objetivo precípua da Organização é o de proporcionar e promover a cooperação entre os membros “no âmbito do Projeto ITER, um projeto internacional que visa a demonstrar a viabilidade científica e tecnológica da energia de fusão para fins pacíficos, da qual uma característica essencial seria a concretização da produção sustentada de energia de fusão”²⁸. Na origem, ITER é a sigla em inglês para “Reator Termonuclear Experimental Internacional”. No entanto, a fim de sublinhar as diferenças entre fusão e fissão, as Partes praticamente eliminaram as referências ao termo “nuclear” no acordo e, antecipando-se na

27 A Euratom, por sua vez, é integrada pelos 28 Estados-membros da União Europeia e, no caso da pesquisa em fusão nuclear, tem a Suíça como Estado associado.

28 ACORDO ITER (Acordo sobre o Estabelecimento da Organização Internacional de Energia de Fusão ITER para a Implementação Conjunta do Projeto ITER, de 21 de novembro de 2006), artigo 2º. A íntegra do acordo consta dos anexos.

missão estratégica de promover o entendimento e a aceitação pública da energia de fusão²⁹, adotaram o nome da Organização pelo seu significado em latim: o “caminho”³⁰. Neste livro, a organização é chamada de “Organização ITER” ou de “OI-ITER”, enquanto o projeto do reator propriamente dito é identificado apenas como “ITER”³¹.

Com sede no complexo nuclear francês de Cadarache, município de Saint-Paul-lez-Durance, a quarenta quilômetros de Aix-en-Provence e dotada de personalidade jurídica internacional própria, inclusive para a assinatura de acordos com terceiros, a OI-ITER tem, entre outras, a responsabilidade da construção, operação, exploração e posterior desativação das instalações do ITER³², situadas em terreno de quase dois quilômetros quadrados, contíguo ao da sede da Organização (a definição do local de construção da máquina foi, como se verá à frente, objeto de acirrada disputa entre a França e o Japão). Apesar de seu caráter experimental, o reator de Cadarache será, quando estiver pronto na década de 2020, um imenso *tokamak* (rota do confinamento magnético, conforme definida *supra*) integrado por mais de um milhão de componentes de altíssimo conteúdo tecnológico e com peso total de 23 mil toneladas. Suas missões centrais são a superação da barreira do balanço energético positivo em uma proporção de dez para um (quer dizer, deverá gerar ao menos quinhentos MWt em energia térmica para cada cinquenta MW consumidos) e, embora seu projeto não preveja a produção de eletricidade, também a realização dos testes simultâneos de todas as tecnologias necessárias para a concepção e operação de um futuro modelo de reator nucleoeletrico de demonstração – o DEMO, no jargão da fusão – e da primeira geração de usinas comerciais³³. Trata-se, sem dúvida, da principal iniciativa das sete Partes – todas

29 *Id.*, artigo 3º, parágrafo 1º, alínea “c”.

30 Na observação mordaz da revista “The Economist”, a mudança reflete a “ansiedade pública a respeito de qualquer coisa que tenha ‘termonuclear’ junto a ‘experimental’ em seu nome” (edição de 22 de julho de 2010).

31 Quando a distinção entre Organização e projeto não for relevante, OI-ITER e ITER são utilizados quase como sinônimos, tal como fazem as Partes e a direção da Organização.

32 ACORDO ITER, artigo 3º, parágrafo 1º, alínea “a”.

33 VARANDAS, Carlos. *Main aspects and lessons from the ITER Project governance* (artigo).

com suas motivações peculiares – para que a fusão nuclear deixe de ser a “eterna energia do futuro”, confinada aos laboratórios, e se transforme, já na segunda metade deste século, em uma alternativa concreta e economicamente viável. O ITER deve, portanto, abrir o caminho para um ou mais DEMOs, que não serão necessariamente desenvolvidos em conjunto.

A OI-ITER é um caso paradigmático de esforço cooperativo internacional para a implementação de projeto científico-tecnológico de grandes proporções, mas não é o único. A Organização Europeia para Pesquisa Nuclear (CERN), o Observatório Austral Europeu (ESO) e a Estação Espacial Internacional (ISS) também oferecem excelentes exemplos de parcerias internacionais com objetivos tão ambiciosos quanto os do ITER. A organização CERN, por exemplo, foi criada em 1952 e é responsável pelo maior e mais poderoso acelerador de partículas do mundo, o Grande Colisor de Hádrons (LHC), que tanto interesse despertou em 2012 ao avançar na compreensão sobre as origens da matéria – uma descoberta que, em futuro distante, poderá abrir as portas de aplicações práticas tão ou mais revolucionárias que as abertas em 1905³⁴ – e que necessita de campos magnéticos ultraintensos, assim como um *tokamak*. Todavia, fiéis a suas origens, organizações como CERN e ESO seguem como entidades essencialmente europeias, apesar de abertas a Estados não europeus³⁵, e a ISS é um projeto operado por uma rede de convênios entre agências espaciais, não uma organização internacional³⁶. A OI-ITER é um caso único pela abrangência de sua lista de membros, que inclui todos os P-5 (França e Reino Unido via Euratom), três dos Brics (Rússia, China e Índia) e nove das dez maiores economias do mundo em 2014

34 Para a descoberta da partícula que provavelmente corresponde ao bóson de Higgs, *vide* REAL ACADEMIA SUECA DE CIÊNCIAS. *The BEH-mechanism, interactions with short range forces and scalar particles* (Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2013) (artigo).

35 O Brasil assinou acordo de ingresso na ESO em 2010, ainda não ratificado. Israel é membro pleno do CERN desde 2014.

36 A Agência Espacial Brasileira (AEB) chegou a fazer parte dessa rede.

(a única exceção é o Brasil). Alguns autores chegam mesmo a ver no ITER o “primeiro exemplo de globalização na ciência e tecnologia”³⁷.

Ademais da relação de países e blocos participantes, outra singularidade da Organização ITER diz respeito a seus mecanismos de financiamento e de aquisições. Nos termos do artigo 8º de seu acordo constitutivo, as fontes de recursos poderão incluir “contribuições em espécie (*in kind*)” – como componentes, equipamentos, materiais, bens e serviços, além de funcionários para o quadro de pessoal da Organização – e “contribuições financeiras diretas (*in cash*)”. Embora contribuições *in kind* sejam comuns nas organizações internacionais, sua proporção na OI-ITER é inédita: cerca de dois terços na crucial etapa de construção do reator. A responsabilidade por sua montagem cabe à Organização, com base no projeto e seguindo as especificações previamente definidas, mas a encomenda dos componentes é feita diretamente pelas Partes, por meio de licitações promovidas pelas Agências Domésticas designadas. Os valores dessas aquisições são contabilizados como contribuição em espécie e expressos em “unidades de conta ITER” (IUA)³⁸.

O orçamento *in kind* para a construção do ITER prevê cerca de 140 “arranjos licitatórios” (*procurement arrangements*) no valor estimado de 3,1 milhões de IUAs³⁹, divididos da seguinte forma: 5/11 para os europeus e 1/11 para cada um dos demais membros. Por trás desse inovador mecanismo – que contraria a lógica tradicional da gestão de projetos ao separar as responsabilidades gerencial e financeira e ao permitir a pulverização de algumas cadeias de fornecimento – está a decisão política de assegurar o benefício econômico direto e o efeito de arraste tecnológico aos setores industriais de todos os países participantes. A própria unidade de conta IUA foi criada com o

37 VARANDAS, Carlos, *op. cit.* Nesse texto, Varandas faz também comparação com o G-20, pouco adequada já que nove de seus membros estão fora da OI-ITER: além do Brasil, África do Sul, Arábia Saudita, Argentina, Austrália, Canadá, Indonésia, México e Turquia.

38 SWENSON, Peter. *Scheduling and its role in the management of ITER* (apresentação).

39 Somando as contribuições *in cash*, o valor total não deve ultrapassar 4,7 milhões de IUAs.

objetivo de evitar eventuais desequilíbrios de ordem cambial ou de paridade de compra – aspecto significativo à luz do diferencial de desenvolvimento entre as Partes. O outro lado da questão é uma governança complexa do ponto de vista gerencial, que tem gerado forte tensão entre as necessidades da OI-ITER e a capacidade de oferta das diferentes ADs e de seus fornecedores nacionais, aumentando significativamente os riscos para a integração de componentes por vezes fabricados em uma dezena de países⁴⁰.

Além dos problemas de governança, os críticos do ITER costumam frisar que seu sistema de financiamento e compras torna impossível precisar os custos de construção do reator de Cadarache. Levando-se em consideração o teto estabelecido pelas autoridades comunitárias para as contribuições do lado europeu⁴¹, esse total pode ser estimado em treze bilhões de euros (cerca de quarenta bilhões de reais). O mesmo cálculo a partir das contribuições dos Estados Unidos elevaria os custos a mais de vinte e dois bilhões de dólares daquele país (cerca de cinquenta bilhões de reais), todas essas cifras em valores de 2014⁴². Para dificultar o quadro, a vigência do Acordo ITER em 24 de outubro de 2007 e a instalação formal da OI logo depois praticamente coincidiram com a crise econômica global de 2008, o que amplificou as vozes críticas do gigantismo do projeto e aumentou a probabilidade de atraso nas encomendas por dificuldades orçamentárias das ADs, sobretudo no caso europeu⁴³.

Diante de seus ambiciosos objetivos e dos inovadores mecanismos de contribuições e de compras, a Organização ITER está fadada a servir de modelo de como fazer – ou, para alguns, de como não fazer – um grande projeto de cooperação internacional em ciência, tecnologia e inovação. Para além das pertinentes dúvidas sobre a

40 COMISSÃO EUROPEIA. *Towards a robust management and governance of the ITER Project*, p. 2-4.

41 "ITER Newslines", n.159, 14 de janeiro de 2011.

42 Vide Audiência Pública do Secretário de Energia, Ernest Moniz, no Congresso Nacional dos EUA. Vídeo disponível em: <www.c-span.org/video/fy2015-energy-water-budget>.

43 "Financial Times", 17 de junho de 2009, e "The Economist", 22 de julho de 2010.

viabilidade técnica e econômica da energia de fusão, bem como sobre as vantagens e desvantagens do “padrão ITER” de gestão financeira e executiva, há a certeza de que o projeto servirá como indutor de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais, equipamentos e sistemas, disseminando-os à indústria de alta tecnologia de seus participantes.

A título meramente ilustrativo, o reator experimental de Cadarache deverá gerar *spin-offs* em áreas como supercondutores, novos materiais, tecnologias de vácuo, criogenia, e robótica⁴⁴. Como prova do inestimável impacto dessas derivações, nunca é demais recordar que o código da *world wide web* é um *spin-off* das pesquisas desenvolvidas pela equipe do físico britânico Tim Berners-Lee na Organização CERN, exemplo de cooperação internacional muito próximo ao ITER em termos conceituais⁴⁵. Diferentemente do ocorrido com o *software* da *web*⁴⁶, porém, a propriedade intelectual gerada conjuntamente em Cadarache, incluindo a de pesquisadores visitantes, pertencerá à OI-ITER, que deverá tomar “as providências adequadas para seu registro, comunicação e proteção” e para seu licenciamento às Partes – apenas às Partes – “em bases equânimes, não discriminatórias, irrevogáveis, não exclusivas e isentas de *royalties*”⁴⁷.

O ingresso de uma nova Parte na Organização ITER é uma possibilidade teórica aberta pelo artigo 23 do acordo constitutivo, embora inviável na prática, pois os arranjos licitatórios de maior vulto e conteúdo tecnológico já foram atribuídos. Ou seja, por um ângulo estritamente jurídico, não há mais como assegurar a igualdade entre os fundadores e um hipotético novo membro (seria mais lógico que este negociasse acordo ou convênio bilateral de cooperação com a

44 COMISSÃO EUROPEIA. *Fusion and industry: together for the future*, p. 7.

45 Vide GILLIES, James; CAILLIAU, Robert. *How the web was born*.

46 O CERN desistiu de todos os direitos de propriedade intelectual do código *web* e autorizou a qualquer pessoa física ou jurídica seu uso, duplicação, modificação ou distribuição (Declaração pública da Organização CERN, 30 de abril de 1993).

47 ANEXO SOBRE INFORMAÇÃO E PROPRIEDADE INTELECTUAL AO ACORDO ITER, artigos 5º e 6º.

OI-ITER). Na história do projeto, antes da criação da Organização, o número de participantes sofreu grandes variações: os EUA deixaram-no em 1999 e regressaram em 2003, ano de entrada de China e República da Coreia; o Canadá abandonou-o definitivamente em 2004, frustrado por ter sido preterido como sede; e a Índia só definiu seu ingresso no final de 2005.

O eventual ingresso do Brasil no Projeto ITER foi objeto de sondagens europeias em 2004 e 2005 e – depois de instalada a Organização, mas antes da definição dos principais *procurement arrangements* – voltaria a sê-lo em junho de 2009, durante visita ao Brasil do diretor de Energia na Direção-Geral de Pesquisa da Comissão Europeia, ocasião em que um novo sócio seria muito bem-vindo no contexto da grave crise econômica iniciada no ano anterior⁴⁸. Naquela oportunidade, porém, o Governo brasileiro já havia decidido sua estratégia em relação à nova fase da fusão nuclear aberta pela OI-ITER: uma abordagem pragmática e gradual⁴⁹ que previa, em paralelo ao fortalecimento da pesquisa nacional sobre o tema, a assinatura de acordo de cooperação com a Parte que ostenta o mais avançado programa doméstico de fusão, hospeda o reator de Cadarache, responde pelo fornecimento de mais de 45% de seus componentes e sistemas, e é ela própria uma organização internacional: a Euratom.

A Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom) foi criada em 1957, juntamente com a Comunidade Econômica Europeia (CEE), e manteve sua personalidade jurídica internacional distinta mesmo após a entrada em vigor do Tratado de Lisboa em 1º de dezembro de 2009⁵⁰. Sua preservação como “comunidade” não decorreu da importância para o aprofundamento da integração regional, mas sim

48 Despacho telegráfico 19, de 26 de janeiro de 2005, e Despacho telegráfico 263, de 16 de junho de 2009, ambos para a Delegação do Brasil junto à UE.

49 Entrevista do embaixador Hadil da Rocha Vianna ao autor, 2 de maio de 2014.

50 Apesar da personalidade própria, a Euratom compartilha a estrutura de governança da União Europeia. Suas funções executivas são exercidas pela Comissão Europeia. Na prática, a diferença entre a União Europeia e a Euratom é uma filigrana jurídica.

da falta de consenso entre os Estados-membros a respeito da energia nuclear, o que não tornou conveniente sua simples incorporação pela União Europeia (UE)⁵¹. O programa europeu de pesquisa e desenvolvimento em energia de fusão talvez seja um dos raros exemplos de expectativas correspondidas na Euratom e, certamente, uma de suas faces mais visíveis. O marco jurídico-institucional para a coordenação, integração e racionalização dos programas nacionais encontra-se no consórcio Eurofusion, novo nome do Acordo Europeu para o Desenvolvimento da Fusão (EFDA), que inclui os países da UE e a Suíça. A Euratom mantém, ainda, a Agência Doméstica europeia do ITER (*Fusion for Energy*, ou F4E), umbilicalmente vinculada à EFDA/Eurofusion, só que com personalidade jurídica distinta e orçamento próprio (voltado apenas às necessidades do reator de Cadarache)⁵².

Sob a égide da EFDA/Eurofusion, todos os centros e laboratórios europeus de fusão têm acesso ao Toroide Europeu Conjunto, ou *Joint European Torus* (JET), hoje o maior e mais potente *tokamak* do mundo. Inaugurado em 1984 em Culham, Reino Unido, o JET detém o recorde de geração de energia de fusão (16 MWt de potência, mas com balanço energético negativo) e é a única máquina a operar com o combustível deutério-trítio. Essas marcas só deverão ser superadas com a entrada em operação do ITER, cujo conceito será, em muitos aspectos, uma extrapolação do JET. Também coube à EFDA/Eurofusion a tarefa de elaborar o *roadmap* europeu da fusão, que traça as diretrizes para a entrada em operação de um primeiro reator nucleoeletrônico de demonstração até o início da década de 2040. Para atingir esse ambicioso objetivo, a Euratom espera poder contar com intensa cooperação internacional, seja no âmbito do ITER, seja fora dele⁵³.

51 WOLF, Sebastian. *EURATOM, the European Court of Justice and the limits of nuclear integration in Europe* (artigo). Esse autor recorda que, nas décadas de 1950 e 1960, Jean Monnet acreditava mais na Euratom do que na CEE como motor da integração europeia.

52 Entrevista do Engenheiro Alejandro Zurita (Euratom) ao autor, 6 de maio de 2014.

53 ACORDO EUROPEU PARA O DESENVOLVIMENTO DA FUSÃO. *Fusion Electricity: a roadmap to the realisation of fusion energy*, p. 11, 47.

Convencidos da necessidade das parcerias internacionais para seus propósitos, embora partindo de realidades completamente assimétricas no que se refere à fusão nuclear, Brasil e Euratom assinaram em 27 de novembro de 2009 o Acordo de Cooperação na Área de Pesquisa sobre Energia de Fusão⁵⁴. As perspectivas de cooperação abertas por esse instrumento serão analisadas com prioridade neste livro, pois talvez esteja aí uma das mais promissoras alternativas, mas não necessariamente a única, para a efetiva inserção do Brasil nos esforços internacionais de pesquisa e desenvolvimento no campo da energia de fusão nuclear. As áreas de interação previstas no acordo Brasil-Euratom de 2009 abrangem os *tokamaks*, incluindo a geração atual e as futuras (ou seja, reatores experimentais como o ITER e também os futuros reatores de demonstração e de geração nucleoe elétrica). O acordo abre ao Brasil a possibilidade de acesso ao JET e aos mecanismos de formação e capacitação de recursos humanos da EFDA/Eurofusion, dois elementos importantes para o fortalecimento da Rede Nacional de Fusão (RNF), criada em 2006 no âmbito da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), e para o funcionamento do futuro Laboratório de Fusão Nuclear (LFN), a ser construído no complexo nuclear de Iperó, São Paulo, ao lado do novo Reator Multipropósito Brasileiro (RMB).

Em contraste com os membros da OI-ITER, o Brasil tem à sua disposição diversas alternativas para ampliar a oferta interna de energia nas próximas décadas, todas com viabilidade já comprovada em termos econômicos e tecnológicos: do petróleo do Pré-Sal ao combustível nuclear (possuímos vastas reservas de urânio e dominamos o ciclo completo), da bioenergia aos potenciais hidroelétrico, eólico e solar ainda inaproveitados⁵⁵. É verdade que compartilhamos com China e Índia o desafio de expandir o acesso à energia e, sobretudo,

54 Foi, por coincidência, o último acordo firmado pela EURATOM como parte do “pilar comunitário” da Europa, nos termos do Tratado de Maastricht de 1992. O acordo Brasil-EURATOM de 2009 consta nos anexos.

55 Vide EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030*.

à eletricidade, corolário de nosso desenvolvimento social, mas – com tantas alternativas a explorar e desenvolver em nosso território – a fusão nuclear, ao menos em médio prazo, não pode ser considerada prioritária para o Brasil. Além disso, em 2005-2006, nossa participação como membro pleno do ITER não teria feito qualquer sentido, tendo em vista o estágio incipiente da pesquisa sobre fusão no país e a consequente dificuldade de integração à cadeia industrial do projeto – aspecto essencial para justificar o alto valor das contribuições à Organização⁵⁶.

Os motivos de nossa ausência da Organização ITER não significam, porém, que possamos ou devamos ficar alheios aos rumos da energia de fusão e à formação desse novo “clube” internacional do conhecimento. Além disso, vale recordar que, a prevalecer a rota magnética dos grandes *tokamaks*, será aberto um novo e estratégico mercado para o uso do nióbio em supercondutores. Somente um reator experimental como o ITER consumirá mais de quinhentas toneladas desse metal⁵⁷, que tem 98% de suas reservas mundiais concentradas no Brasil (mais de 920 milhões de toneladas de minério, com onze milhões de toneladas de óxido de nióbio contido)⁵⁸. Tomando como referência o mais provável horizonte de tempo para a operação do reator de Cadarache (entre 2020 e 2037 ou 2047), poderíamos dizer que, se o ITER é o “caminho”, a cooperação com a Euratom e com outros parceiros internacionais poderá oferecer a “trilha” para que o Brasil aumente sua capacitação e venha a participar de forma substantiva – não como um mero fornecedor de matéria-prima – da eventual era de reatores comerciais de fusão, promessa de fonte inesgotável e sustentável de energia.

56 Entrevista do prof. dr. Ricardo Galvão a “O Estado de S. Paulo”, 20 de janeiro de 2013.

57 “ITER Newline”, 23 de maio de 2014.

58 INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Informações e análises da economia mineral brasileira*. 7. ed. p. 48-50. Por outro lado, em reatores como o ITER, questões técnicas – relacionadas à irradiação dos nêutrons – não recomendam o emprego do nióbio nas ligas de aço inoxidável desenvolvidas especificamente para a fusão nuclear. Vide PADILHA, Ângelo et al. *Os novos aços inoxidáveis EUROFER utilizados em fusão nuclear*.

A Organização ITER já foi descrita como o “ultimate long term experiment”⁵⁹, e essa perspectiva de longuíssimo prazo, típica dos projetos da “grande ciência”, é crucial – tanto para o mundo, quanto para nós, brasileiros, caso desejemos concretizar, enfim, as palavras do Barão do Rio Branco na abertura do congresso científico latino-americano de 1905. Hoje, como naquele ano, não faltam exemplos da essência dinâmica do conhecimento e das relações internacionais, entre os quais estão os caminhos da energia de fusão.

59 Editorial do “Financial Times”, 22 de novembro de 2006.

Capítulo 1

Antecedentes: uma breve história da energia de fusão

O conhecimento pode ser perigoso. A ignorância é incomparavelmente mais perigosa. (E. TELLER, físico e coinventor da bomba-H)⁶⁰

Não creio que a energia de fusão vá mudar o mundo, [...] mas será, em termos práticos, muito importante para a humanidade. (A. SAKHAROV, físico e coinventor da bomba-H e do tokamak)⁶¹

1.1. Primórdios: da energia do Sol às explosões termonucleares na Terra⁶²

Entre 1905, o “ano miraculoso” de Albert Einstein, e o de 1914, quando eclodiu a Primeira Guerra Mundial e – na conhecida formulação de Eric Hobsbawm – começou o “Breve Século XX”⁶³, a ciência continuou a desbravar fronteiras, mas ainda não havia encontrado resposta convincente para uma antiga pergunta: qual é afinal a fonte da energia do Sol? O carvão e o petróleo eram as mais densas fontes energéticas conhecidas à época – e, fosse feita de um ou de outro, o Sol não teria como durar mais que dois ou três mil anos, tempo obviamente incompatível com a idade da Terra. Embora Einstein já oferecesse o fundamento da explicação, e Ernest Rutherford e Niels Bohr tivessem avançado no modelo atômico em 1911 e 1913,

60 *Apud* BARROSO, Dalton E.G. *A física dos explosivos nucleares*. Tradução do autor.

61 *Apud* HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 237-238. Tradução do autor.

62 Há uma cronologia da energia de fusão nos anexos.

63 HOBBSAWM, Eric. *Era dos extremos*, p. 15.

faltavam as ferramentas teóricas para a exata compreensão das reações nucleares que garantiam a energia do Sol e das demais estrelas. Essas ferramentas surgiriam somente depois do conflito de 1914-18, com o progresso da física subatômica, e seriam sucessivamente utilizados na descoberta coletiva da fusão nuclear por Arthur Eddington, George Gamow, Robert Atkinson e Fritz Houtermans na década de 1920 e Hans Bethe e Mark Oliphant na década de 1930⁶⁴. O pioneirismo quanto ao entendimento da energia de fusão cabe ao britânico Eddington. Com base nas primeiras medições precisas da massa atômica dos elementos, ele concluiu corretamente, em 1920, que somente a liberação de energia poderia explicar a diferença de massa entre um átomo de hélio e a soma dos quatro átomos de hidrogênio que o formaram – em reações que, extrapoladas para as dimensões de uma estrela, explicariam sua colossal geração de energia. Após expor esse raciocínio, acrescentaria, em tom premonitório, que “If, indeed, the subatomic energy in the stars is being freely used to maintain their furnaces, it seems to bring a little nearer to fulfillment our dream of controlling this latent power for the well-being of the human race – or for its suicide.”⁶⁵

Arthur Eddington não desenvolveria a ideia e vários autores (sobretudo os não britânicos) preferem atribuir a descoberta da fusão nuclear a uma pessoa em particular: Hans Bethe, um físico alemão que, perseguido pelo nazismo, se radicou em 1935 nos Estados Unidos⁶⁶. O principal feito de sua obra talvez se encontre na formulação – feita em paralelo com outro alemão, Carl von Weizsäcker – da teoria das reações de fusão em estrelas maiores que o Sol, que geram energia e,

64 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 12-14.

65 Discurso à Associação Britânica para o Avanço da Ciência (Cardiff, País de Gales, 1920). *Apud* McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 14. Eddington esteve em Minas Gerais em 1912 para observar um eclipse solar e, em 1919, coordenou a equipe de observação de outro eclipse em Sobral, Ceará, cujos resultados contribuíram para validar a teoria da relatividade de Einstein.

66 *Vide inter alia* Camargo, Guilherme. *O fogo dos deuses: uma história da energia nuclear*, p. 61 e Herman, Robin, *op. cit.*, p. 20. Bethe recebeu o Nobel de física “por suas contribuições à teoria das reações nucleares, especialmente as descobertas relacionadas à produção de energia nas estrelas”.

no processo, também “fabricam” elementos mais pesados que o hélio, como o carbono, o nitrogênio e o oxigênio. Em estrelas gigantescas, segundo propõem os seguidores da obra de Bethe, esse processo tem continuidade até a formação do ferro – sinal do esgotamento de suas reservas de “combustível” e de seu iminente colapso gravitacional, seguido da explosão que dá origem às *supernovas*. É o cataclisma da *supernova* que está, por sua vez, na origem dos demais elementos, até o urânio, o mais pesado de todos os existentes em quantidades significativas na Terra⁶⁷.

Neste livro, é claro que as reações de fusão nos interessam somente pelo ângulo da energia nuclear liberada, não pelo da formação de elementos. A utilidade em conhecer os processos descritos neste parágrafo está em facilitar o entendimento das clássicas curvas de energia de ligação por núcleon, tão comuns em trabalhos técnicos sobre energia nuclear para explicar a diferença entre fusão e fissão. Assim, a ideia aqui é a de fixar – em uma simplificação de fins didáticos, pois a realidade é bem mais complexa – que os núcleos dos elementos entre o hidrogênio e o ferro são os potenciais “combustíveis estelares”, ou seja, liberam energia ao se fundir. Já os núcleos dos elementos entre o ferro e o urânio “carregam” consigo uma pequena parcela do poder das *supernovas*, e liberam energia ao se dividir. O maior potencial para aproveitamento dessas forças nucleares pelo ser humano, com a melhor relação custo-benefício, está nos extremos da tabela periódica: o hidrogênio (número atômico 1) e seus isótopos no caso da fusão; o urânio (número atômico 92) e seus isótopos no da fissão⁶⁸.

Esse aproveitamento da energia nuclear estava longe de ser tarefa simples, sobretudo quando o objetivo seria a obtenção de balanços energéticos positivos. Rutherford chegaria ao ponto de afirmar, em artigo de 1933, que “qualquer um que procure na transmutação dos

67 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 26-32. Alguns elementos transurânicos são encontráveis na natureza, mas em quantidades ínfimas.

68 Outro elemento ideal para a fissão é o plutônio (número atômico 94), que foi descoberto ao ser fabricado em experimentos nucleares.

átomos uma fonte de energia estará falando tolices [*moonshine*, no original]”⁶⁹. Como visto na introdução, o domínio das forças nucleares aconteceria não por razões econômicas e sim militares, vinculadas ao prosseguimento do “Breve Século XX” de Hobsbawm. No caso da ciência, e mais especificamente da física, no mesmo ano em que Rutherford arriscava sua reputação com uma previsão infeliz, a barbárie nacional-socialista na Alemanha começou a promover um dos maiores casos de redistribuição de conhecimento na história, um *brain drain* que, entre 1933 e 1939, beneficiou em larga medida os Estados Unidos. Além de Bethe, a lista de emigrados incluiu nomes como o do próprio Einstein, o do matemático polonês Stanislaw Ulam e os de dois físicos húngaros formados na Alemanha, Leo Szilard (o inventor da reação em cadeia) e Edward Teller. Este se revelou um dos personagens-chave da história da energia de fusão – e também da corrida armamentista da Guerra Fria, até seus últimos dias⁷⁰.

Em meados de 1939, poucos meses após a descoberta da fissão nuclear, parte da comunidade científica já tinha noção de que sua aplicação prática seria relativamente menos complexa que a da fusão, entre outros motivos pelo emprego do conceito de massa crítica e das reações em cadeia teorizadas por Szilard, base até hoje do funcionamento de uma usina nuclear (processo controlado) ou de uma bomba atômica (processo descontrolado). Temeroso de que o regime nazista viesse a desenvolver armas nucleares, Szilard convenceu Einstein a assinar carta a Franklin Delano Roosevelt, alertando-o desse risco e sugerindo que o governo estadunidense tomasse a iniciativa. Datada de 2 de agosto de 1939, a correspondência afirmava que:

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

69 CAMARGO, Guilherme, *op. cit.*, p. 58.

70 BIRD, Kai; SHERWIN, Martin J. *American Prometheus: the triumph and tragedy of J. Robert Oppenheimer*, *passim*. Teller foi um dos maiores defensores da “Guerra nas Estrelas” do governo Reagan.

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 constructed⁷¹.

Einstein ia além e praticamente oferecia a Roosevelt um *fission roadmap*, sugerindo atenção particular ao “problema do minério de urânio”, à alocação das verbas adequadas para os centros de pesquisa e à cooperação com o setor industrial – uma verdadeira “certidão de nascimento” do complexo industrial-militar dos Estados Unidos. Dois anos mais tarde foi criado o *Manhattan Project*, que contou com as qualidades executivas do físico Robert Oppenheimer, diretor do recém-criado Laboratório Nacional de Los Alamos e mentor de toda uma geração de cientistas e engenheiros nucleares. Enquanto a ênfase de Oppenheimer estava em viabilizar o artefato explosivo baseado na fissão do urânio enriquecido ou do plutônio – miniaturizado o suficiente para ser lançado de um avião –, alguns integrantes de sua equipe já visualizavam o conceito de uma bomba “super”, baseada na fusão do hidrogênio. À frente deles estava Edward Teller, que em fins de 1941 percebera o potencial de dispositivo híbrido, no qual um “gatilho” de fissão levaria o combustível de hidrogênio às altíssimas temperaturas necessárias para a fusão – começava aí o uso da expressão “bomba termonuclear”. Como o domínio da fissão era pré-requisito (além de ser a prioridade absoluta dos EUA no momento) e Hans Bethe, também a bordo do Projeto *Manhattan*, havia elencado as numerosas dificuldades práticas do desenvolvimento de explosivos desse tipo, a ideia de Teller foi deixada de lado⁷².

71 ARQUIVOS NACIONAIS DOS EUA. Carta de A. Einstein a F. D. Roosevelt. Disponível em: <research.archives.gov/description/593374>.

72 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 11-17.

Com o teste nuclear de Alamogordo, o lançamento das bombas sobre o Japão e o final da Segunda Guerra Mundial, Edward Teller voltou a advogar a causa da bomba de hidrogênio – já influenciado pelo quadro de rivalidade com a União Soviética e também pela crescente rivalidade pessoal com Oppenheimer. Enquanto este era um esquerdista moderado, simpatizante do ideário socialista e contrário à escalada nuclear, aquele era um belicista convicto e um visceral anticomunista – traço que adquiriu na juventude, durante a curta gestão de Béla Kun à frente da República Soviética da Hungria em 1919. O grande projeto de Teller foi impulsionado em 29 de agosto de 1949 por outro artefato de fissão, ainda não o de seu imaginado “gatilho”, mas pelo primeiro teste soviético, uma bomba de plutônio muito semelhante à lançada sobre Nagasaki. Era o início da proliferação nuclear, alavancada por redes reais ou fictícias de espionagem, e da corrida armamentista entre as duas superpotências, dando a Teller o pretexto para pleitear a autorização e a alocação de todos os recursos necessários ao desenvolvimento da bomba de hidrogênio, com poder destrutivo centenas de vezes superior ao das bombas exclusivamente de urânio ou plutônio⁷³.

Enquanto Teller ainda se preparava para convencer políticos e cientistas a deixar de lado os escrúpulos de consciência e a abraçar a causa termonuclear, outro gênio organizacional a serviço dos Estados Unidos avançava no *leitmotiv* de sua vida profissional: a propulsão nuclear naval. Em 1949, o Comandante (depois Almirante) Hyman Rickover assumia a dupla liderança dos programas de reatores da Marinha dos EUA e da Comissão de Energia Atômica (hoje o Departamento de Energia daquele país) – acúmulo que lhe permitiu superar todas as dificuldades técnicas e burocráticas e viabilizar, em tempo recorde, o desenvolvimento e lançamento do primeiro submarino nuclear (“USS Nautilus”, janeiro de 1954) e da primeira

73 *Ibid.*, p. 18-19.

usina atômica destinada exclusivamente à geração de eletricidade (Shippingport, Pensilvânia, janeiro de 1957).

Rickover não foi o inventor do processo controlado de fissão (mérito que cabe ao italiano Enrico Fermi e à pilha construída em 1942 na Universidade de Chicago), mas teve a capacidade de coordenar sua miniaturização para fins não explosivos e sua transformação em um produto de engenharia, o reator de água leve pressurizada (PWR), a mesma tecnologia empregada na central nuclear de Angra dos Reis e em quase três quintos do presente parque nucleoeletrico mundial. Na avaliação de Jimmy Carter, que serviu sob suas ordens no início da década de 1950, Rickover foi provavelmente “the greatest engineer of all time”, patrono de uma cultura de excelência em elaboração e implementação de grandes projetos⁷⁴.

De certa forma, Teller, um civil obcecado por armas de destruição em massa, seguia na contramão de Rickover, um militar convencido da importância e da utilidade dos *spin-offs* de natureza civil. Ambos, porém, encontravam-se unidos pelo mesmo projeto nacional de hegemonia militar e tecnológica – e o físico nuclear alcançaria seu objetivo antes do engenheiro naval. Nos primeiros dias de 1950, o Reino Unido prendeu o cientista teuto-britânico Klaus Fuchs – antigo colaborador de Oppenheimer e Bethe no *Manhattan Project* – como espião pró-Moscou. Somada à repercussão do teste soviético, a prisão de Fuchs alimentou a paranoia na opinião pública estadunidense e serviu de pretexto definitivo para que, em 31 de janeiro de 1950, Harry Truman anunciasse ao mundo sua decisão de autorizar a “Atomic Energy Commission to continue its work on all forms of atomic weapons, including the so-called hydrogen or superbomb”⁷⁵. O governo dos Estados Unidos confiou então a Teller a missão de conceber bomba super, a partir do laboratório de Los Alamos, “no

74 YERGIN, Daniel. *The quest: energy, security and the remaking of the modern world*, p. 364-367.

75 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 22.

menor prazo possível” – com receio de que os soviéticos tomassem a dianteira na corrida nuclear⁷⁶.

A pressão sobre a equipe de Teller aumentou com a conflagração da Guerra da Coreia, em junho de 1950, forçando até Oppenheimer – adversário do programa de fusão nuclear – a defender o emprego de novas armas (no caso, bombas menores de fissão, de uso tático)⁷⁷. No entanto, as dificuldades listadas por Hans Bethe em 1945 voltaram à tona, sobretudo a questão da compressão do hidrogênio no tempo, na densidade e nas temperaturas requeridas para sua ignição. No desenho original de Teller, o impacto do artefato de fissão dispersaria o combustível de fusão em lugar de comprimi-lo e acendê-lo. O próprio combustível constituía um problema, pois já se sabia em fins dos anos 1940 que sua composição ideal seria a mistura de deutério e trítio – o primeiro de fácil obtenção e o segundo de cara e demorada fabricação para os padrões tecnológicos da época.

A solução para o projeto da bomba veio das equações matemáticas de Stanislaw Ulam, outro expoente da geração de emigrados antes da Segunda Guerra. Na configuração que foi batizada de Teller-Ullam, a radiação de uma bomba “primária” de urânio serviria de estopim virtualmente instantâneo para a ignição de uma bomba “secundária” de hidrogênio (o problema do combustível foi resolvido mais tarde, tanto por soviéticos como por estadunidenses com o emprego do metal lítio, que produz o trítio no interior do próprio artefato, como consequência do bombardeio de nêutrons). Em 9 de maio de 1951, na nova área de testes nucleares dos EUA (os atóis de Eniwetok e Elugelab, no atual território das Ilhas Marshall), o modelo foi posto à prova com êxito pela operação *Greenhouse*, tendo como combustível uma pequena quantidade de deutério e trítio. Era insuficiente para os desejados efeitos militares da superbomba, mas mais do que o

76 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 63.

77 Bird, Kai; Sherwin, Martin J., *op. cit.*, p. 442. Isso levou ao desenvolvimento da “*Davy Crockett bomb*”, um dos menores artefatos nucleares já construídos.

necessário para comprovar que a fusão nuclear existe – e pode ser alcançada na superfície da Terra, ainda que por somente uma fração de segundo⁷⁸. Robert Oppenheimer foi o “Prometeu” da energia nuclear de fissão, Edward Teller, o da fusão.

Como havia preconizado Arthur Eddington em 1920, o domínio das “forças latentes” do Sol poderia servir para o bem-estar da humanidade, ou para seu suicídio. A obsessão de Teller parecia estar em criar os meios para a segunda hipótese, e o histórico feito científico de maio de 1951 representou apenas pequeno passo rumo a um abrangente programa estadunidense de explosivos termonucleares, que contou, a partir de 2 de setembro de 1952, com seu próprio centro de pesquisa e desenvolvimento, o atual Laboratório Nacional Lawrence de Livermore na Califórnia. Em 1º de novembro daquele ano, como resultado do trabalho iniciado em Los Alamos, os EUA realizaram o teste “Ivy Mike” na pequena ilha de Elugelab, que desapareceu pulverizada pela força de bomba termonuclear de aproximadamente dez megatons (milhões de toneladas-equivalente de TNT), ou 770 bombas de Hiroshima. É esse o marco histórico da fusão nuclear não controlada – o uso explosivo da fusão que está na base das doutrinas de destruição mutuamente assegurada⁷⁹. Tendo em mente o bem-estar imaginado por Eddington, cabe aqui ressaltar que a humanidade não logrou até hoje a fusão nuclear controlada com balanço energético positivo – o marco que a Organização Internacional ITER espera alcançar na década de 2020.

De volta à corrida nuclear, em 1º de março de 1954, os Estados Unidos realizaram o teste “Castle Bravo” em recife do atol de Bikini, com força de quase quinze megatons (mais de mil bombas de Hiroshima), seguido em 22 de novembro de 1955 da primeira bomba de hidrogênio da União Soviética, artefato de 1,6 megaton detonado

78 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 27.

79 *Ibid.*, p. 28-30.

no Cazaquistão⁸⁰. Esse diferencial de potência entre estadunidenses e soviéticos seria superado em favor dos últimos em 31 de outubro de 1961 com a explosão no arquipélago ártico de Nova Zemlia da “bomba Tsar”, de cerca de cinquenta megatons (3,8 mil bombas de Hiroshima). O teste de 1955 e a “Tsar”, a mais poderosa bomba já detonada pelo ser humano, foram resultados do trabalho e da liderança de outra personagem-chave da energia de fusão, o físico russo Andrei Sakharov. Em termos de legado, na comparação com Teller, Sakharov leva a grande vantagem de ser pioneiro do tipo de reator utilizado pelo ITER (isso para não falar das credenciais de sua posterior cruzada pela coexistência pacífica com os EUA e pela liberdade intelectual na URSS, o que lhe garantiria o Nobel da Paz de 1975)⁸¹.

1.2. PNEs: a fusão nuclear descontrolada para “fins pacíficos”

Em parte pela genuína vontade de identificar aplicações pacíficas para a energia de fusão, em parte pelo interesse em garantir a alocação de mais recursos públicos para suas linhas de pesquisa, Edward Teller começou a defender, por volta de 1953, o conceito das “Peaceful Nuclear Explosions” (PNEs)⁸². Diferentemente de Sakharov, o criador da bomba estadunidense considerava improvável que a fusão nuclear viesse um dia a gerar eletricidade. Minimizando o impacto radioativo dos explosivos termonucleares (com o raciocínio de que a maior parte das consequências de longo prazo vinha da bomba primária de urânio, não da ignição do hidrogênio), Teller chegou à conclusão de que sua única hipótese de aplicação prática imediata estaria em grandes obras

80 Em 1953, a União Soviética conduziu o teste da bomba “sloyka” apenas com o objetivo de demonstrar a viabilidade da ignição do hidrogênio, de modo semelhante ao que fizeram os EUA na operação *Greenhouse*, em 1951.

81 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 65-66.

82 As PNEs serão aqui abordadas como uma possível, embora improvável, aplicação pacífica da energia de fusão. Análise abrangente do conceito pelo prisma do desarmamento e da não proliferação foge do escopo deste livro.

de engenharia – de fato, uma possibilidade à luz do colossal potencial demonstrado pelo teste “Castle Bravo”⁸³.

A proposta das PNEs veio ao encontro dos interesses de Washington, no momento em que a gestão Eisenhower lançava os “Átomos para a Paz”, e passou a integrar o discurso oficial dos EUA, bem como suas ações de relações públicas. Ao apresentar a ideia a jornalistas, Teller costumava dizer que “se sua montanha não está no lugar certo, conte conosco”⁸⁴ – abordagem que parece absurda e inacreditável para os padrões de hoje, mas que soava plausível e digna de nota até o começo dos anos 1970. Essas iniciativas de comunicação repercutiam com força no Brasil e, em seu livro de memórias, o embaixador Ovídio de Melo recorda que:

Depois de jogar as bombas em Hiroshima e Nagasaki, os americanos, com medo de se tornarem odiados na história futura por terem cometido aquelas monstruosidades, começaram a fazer grande publicidade dos explosivos atômicos também para finalidades civis, inteiramente pacíficas, como seriam a abertura de canais, baías, golfos, a construção de lagos, a regularização de cursos fluviais, a abertura de estradas, remoção de montanhas, perfurações de túneis e dezenas de outras finalidades que passaram a chamar de ‘engenharia geográfica’⁸⁵.

Em 1957, o laboratório de Livermore promoveu simpósio para aprimorar o conceito das PNEs e discutir possíveis obras de engenharia, dando início a uma iniciativa formal do governo dos Estados Unidos: o *Plowshare Project* (uma referência bíblica à transformação da

83 Esse teste, aliás, causou a primeira vítima fatal de uma bomba termonuclear (o tripulante do pescueiro japonês, Daigo Fukuryu, que cruzava o Pacífico) e obrigaria a evacuação da população do atol de Bikini. A campanha de Linus Pauling e Albert Schweitzer contra testes nucleares começou em meados da década de 1950, contribuindo para a primeira moratória das superpotências em 1957 e para a assinatura do Tratado de Limitação Parcial de Testes Nucleares em 1963.

84 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 60-61.

85 MELO, Ovídio de Andrade. *Recordações de um removedor de mofo no Itamaraty*, p. 40-41. Segundo relata Melo, o escritor Graciliano Ramos dizia, em tom de brincadeira, que “todas as potências têm pelo menos um golfo” e que o Brasil deveria construir o seu no Piauí. Melo acrescenta em tom jocoso: “Iriam construí-lo no vasto estado do Piauí [...] com bananinhas de dinamite? Ou com futuras bombas nucleares, daquelas que são ‘pacíficas’?”.

“espada” em “arado”). De acordo com os dados da Associação Nuclear Mundial, entre 1957 e 1977, o *Plowshare* promoveu um total de 27 “explosões pacíficas” – com nenhum resultado prático, a não ser o da transformação em atração turística da cratera de Sedan, em Nevada, criada por uma PNE de 1962. Além desse programa, os EUA também cogitaram a utilização de explosivos termonucleares para a propulsão de naves espaciais e até para a geração de eletricidade em cavidades subterrâneas⁸⁶.

Entre as obras contempladas por Edward Teller no âmbito do *Plowshare* estava a construção de um porto artificial na costa noroeste do Alaska, que exigiria a explosão de ao menos duas bombas de um megaton cada e de outras menores. Suas ambições não se limitavam à Terra e incluíam até mesmo a Lua – não com o objetivo de ali chegar a um veículo de propulsão nuclear, mas apenas no de bombardeá-la para observar “que tipo de distúrbios isso acarretaria”⁸⁷. Apesar dos exageros que beiravam o surrealismo, Teller também empregava as PNEs de forma muito realista, como “argumento de sua campanha contra a moratória de testes nucleares, vigente entre Estados Unidos e União Soviética de 1957 a 1961, e contrapropostas ulteriores de proibição de testes”⁸⁸.

Em 1965, os soviéticos lançaram sua própria iniciativa de PNEs, o “Programa 7”, com suposta ênfase no aumento da produtividade da exploração de petróleo e gás natural. Ao todo, até o final desse programa em 1989, foram realizadas 124 explosões no território da antiga União Soviética, que incluíram a construção de reservatórios de água e de cavidades subterrâneas em campos de sal, bem como testes de monitoramento sísmico no manto terrestre. Embora o caráter das PNEs soviéticas tenha sido marcadamente mais prático

86 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Peaceful nuclear explosions*, versão de julho de 2010. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info>.

87 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 62-63.

88 ZALUAR, Achilles. *A não-proliferação nuclear e o Conselho de Segurança*, anexo 2.

que as dos Estados Unidos, o único “legado” do “Programa 7” parece ser o lago Chagan, formado pela pioneira PNE de 1965. A cratera de quatrocentos metros de diâmetro na localidade de Semipalatinsk, atual Cazaquistão, encheu-se rapidamente de água, que apresenta altas doses de radioatividade até os dias de hoje. Somando EUA e URSS, houve um total de 151 PNEs no mundo – número que exclui o teste nuclear indiano de 1974, autodeclarado como “pacífico” por Nova Delhi⁸⁹.

Cabe lembrar aqui que a decisão brasileira de não assinar o Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP) em 1968 teve estreita relação com o conceito das PNEs. Em seu discurso na Conferência de Desarmamento, em 8 de fevereiro de 1968, o embaixador Araújo Castro ressaltava a preocupação do Brasil com o “direito inalienável de todas as Partes a desenvolverem – isoladamente ou em cooperação com outros Estados – a pesquisa, produção e utilização da energia nuclear para fins pacíficos, inclusive de artefatos explosivos nucleares para usos civis sem discriminação” e alertava para o “congelamento de todos os desenvolvimentos tecnológicos que possam ter qualquer ligação, por mais remota que seja, com a tecnologia específica dos artefatos explosivos nucleares destinados a usos civis”⁹⁰. Como observa Achilles Zaluar, essa dimensão específica da posição brasileira perdeu significado a medida em que o conceito das PNEs deixou de ter vigência internacional, a partir de meados dos anos 1970⁹¹.

Nessa fase final de interesse pelas explosões nucleares pacíficas, conforme recorda Zaluar, a própria Agência Internacional de Energia Atômica – influenciada pelos Estados Unidos – chegou a estimular a ideia por meio de cinco conferências internacionais realizadas entre 1970 e 1976. Em paralelo à iniciativa multilateral, EUA e URSS entabularam negociações bilaterais que resultaram na assinatura,

89 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Peaceful nuclear explosions*.

90 *Apud* ZALUAR, Achilles, *op. cit.*, p. 77.

91 *Ibid.*, p. 78.

em 28 de maio de 1976, do Tratado sobre Explosões Nucleares Subterrâneas para Fins Pacíficos (PNET) – que estabelece um máximo de cento e cinquenta kilotons para cargas explosivas individuais (o equivalente a cerca de doze bombas de Hiroshima)⁹².

Sem desmerecer a eventual boa-fé de alguns de seus defensores, restam poucas dúvidas de que as PNEs serviram na Guerra Fria tão somente como subterfúgio para pesquisas ou outras finalidades de ordem bélica. Em 1996, o Tratado para Proibição Completa dos Testes Nucleares (CTBT) abriu o caminho para a proscrição definitiva das explosões nucleares pacíficas. O tratado ainda não está em vigor, mas, dez anos após isso acontecer, o tema poderá ser reaberto na Conferência de Exame. Nos termos do artigo 8º do CTBT, caso a conferência “decida por consenso que tais explosões nucleares [pacíficas] podem ser permitidas, ela começará sem demora a trabalhar com vistas a recomendar aos Estados-Partes uma emenda apropriada a este Tratado que impedirá quaisquer vantagens militares advindas de tais explosões nucleares”⁹³. Para evitar o mesmo erro de Rutherford em 1933, não se afirma aqui que uma explosão termonuclear jamais poderá ser utilizada para fins não bélicos. No entanto, com base nas informações ora disponíveis, tudo indica que o uso pacífico e prático da energia de fusão encontra-se limitado à geração de eletricidade – ou, no máximo, à produção de algum outro vetor energético, como o gás hidrogênio para a alimentação de células de combustível.

Em 1951, enquanto Edward Teller e Andrei Sakharov ainda trabalhavam nas pranchetas da fusão nuclear descontrolada, um governante sul-americano surpreendeu o mundo ao anunciar que seu país havia desvendado o segredo da fusão nuclear controlada para fins pacíficos, graças às pesquisas de um visionário cientista de origem austríaca. O governante era o argentino Perón. O cientista, Ronald

92 *Ibid.*, anexo 2.

93 Artigo 8º, parágrafo 1º, do CTBT, tal como transcrito no Sistema de Atos Internacionais do MRE. Disponível em: <www.dai-mre.serpro.gov.br>.

Richter. O projeto que em breve seria conhecido como a farsa da ilha Huemul.

1.3. Fusão na América do Sul: Perón, Richter e a ficção nuclear de Huemul

Durante a Segunda Guerra Mundial, a Argentina, como aponta Félix Luna, havia acumulado volume inédito de reservas cambiais e, pela primeira vez em sua história, se transformara em credor internacional. No poder desde 1946, o presidente Juan Domingo Perón encarnava a Argentina triunfalista, potência regional em ascensão, alavancada pela exportação de matérias-primas (sobretudo oleaginosas, cereais e carnes) para um mundo em rápido processo de recuperação e reconstrução. Sua política econômica, de traços nacionalistas e autárquicos, apostava no papel do Estado como promotor – se possível, em aliança com a burguesia nacional – da industrialização, elemento central na diversificação da produção e, por consequência, na redução das vulnerabilidades intrínsecas do tradicional modelo agroexportador⁹⁴.

A indústria aeronáutica e o setor energético ocupavam posição privilegiada no planejamento econômico estatal de Perón. A pequena oferta interna de mão de obra qualificada, sobretudo de engenheiros, era questão a superar de imediato, e os primeiros anos do pós-Guerra ofereciam extraordinária oportunidade. Na visão do líder argentino, não necessariamente compartilhada pela comunidade científica local, o *brain drain* europeu que tanto havia favorecido os EUA poderia agora oferecer salto tecnológico e industrial ao país. Foi nesse contexto que se negociou a vinda do engenheiro aeronáutico alemão Kurt Tank, ex-projetista de caças para a *Luftwaffe*, com a missão de revitalizar e ampliar a fábrica de aviões militares em Córdoba. Antes de deixar a

94 LUNA, Félix. *Breve historia de los argentinos*, p. 220-225.

Europa, em 1947, Tank saiu em busca de novas ideias e conceitos para desenvolvimento na América do Sul. Ficou muito impressionado com a hipótese de aeronaves de propulsão nuclear, que lhe foi apresentada por um amigo, o físico austríaco-alemão Ronald Richter. A atuação de Tank em Córdoba, contudo, foi bem mais convencional, voltada ao desenvolvimento de jatos. Ele e sua equipe de técnicos, quase todos alemães, ali conceberiam o caça “IAe 33 Pulqui II”, capaz de alcançar velocidades superiores a 1.000 km/h e de rivalizar com os melhores modelos dos EUA e da URSS⁹⁵.

Em breve, a Argentina descobriria que a relativa facilidade para recrutar talentos aeronáuticos na Alemanha não era a mesma no caso da energia nuclear, tendo em vista as restrições impostas pelos vencedores da Segunda Guerra. Com crescente prestígio em Buenos Aires, reflexo de seu bom desempenho na fábrica de aviões, Tank teve a ideia de sugerir a Perón o nome de Richter, aceito de imediato apesar da absoluta falta de referências do meio científico. O físico chegou à Argentina em meados de 1948, caiu rapidamente nas graças da cúpula peronista e, no início de 1949, depois de curta experiência frustrada em Córdoba, recebeu a autorização e as verbas iniciais para a construção de centro secreto de pesquisa em fusão nuclear na ilha Huemul, lago Nahuel Huapi, a poucos quilômetros de distância de San Carlos de Bariloche. Segundo Richter, o lugar teria sido escolhido pelo isolamento e pela “abundância de água pura e fresca” para os experimentos⁹⁶. Sem apresentar sequer um resumo de projeto executivo, Richter havia convencido Perón a bancar o primeiro laboratório civil de energia de fusão. De modo algo canhestro, começava na América do Sul o caminho que um dia levaria à criação da Organização ITER.

95 “Clarín”, 25 de março de 2001. A crise econômica do início dos anos 1950 e a deposição de Perón em 1955 abortaram o desenvolvimento do “Pulqui II”, que teve alguns poucos protótipos construídos, e impediram a permanência de Tank na Argentina. Seu destino seguinte foi a Índia, onde continuou a projetar aviões militares.

96 BETHELL, Leslie (Org.). *Ideas and ideologies in 20th century Latin America*, p. 326-327.

Em Huemul, com o passar do tempo, a opacidade e as excentricidades de Richter começaram a gerar desconfiança na Casa Rosada, especialmente entre os assessores militares. Prédios eram construídos e demolidos pouco depois, por supostas imperfeições, incluindo monumental cilindro de cimento, com doze metros de altura e de diâmetro, que o casal Perón chegou a visitar no início de 1950. O temor de atos de espionagem ou sabotagem justificava as medidas de segurança mais extremas, interferindo até mesmo no turismo na região, e servia de desculpa para a completa ausência de relatórios de acompanhamento. A criação da Comissão Nacional de Energia Atômica (CNEA) em 31 de maio de 1950 – com Enrique González, militar próximo a Perón, no comando – deu-se pelo desejo de institucionalizar o programa nuclear argentino, criando as condições para impulsionar o projeto de Richter e, ao mesmo tempo, para melhor fiscalizá-lo⁹⁷.

A conjuntura econômica favorável que permitiu o fortalecimento do Estado peronista começou a inverter-se em 1949/1950, com a queda dos preços internacionais dos cereais e da carne, em meio à retração nos principais mercados consumidores. Por outro lado, o desenvolvimento industrial aumentou a dependência externa da Argentina por combustíveis e bens de capital, com graves consequências sobre o balanço de pagamentos e as reservas cambiais⁹⁸. Esse contexto fez aumentar a pressão por resultados sobre Richter e sua equipe. Afinal, o êxito de Huemul provavelmente significaria a inclusão da Argentina no clube das nações mais influentes do mundo, com uma tecnologia fora do alcance das duas superpotências, e a abertura de nova era em sua economia, alavancada por fonte quase inesgotável de energia. É impossível dizer ao certo quão determinante esse quadro foi para que Richter e sua equipe se mostrassem convictos da “descoberta” da fusão

97 Revista “El Periodista”, 7 de setembro de 1984 (edição que traz uma das únicas entrevistas de Ronald Richter à imprensa argentina).

98 ROMERO, Luis Alberto. *Breve historia contemporânea de la Argentina*, p. 164.

nuclear controlada, após a série de experiências realizada no dia 16 de fevereiro de 1951. O certo é que a notícia, sem qualquer detalhamento técnico, chegou logo ao conhecimento de Enrique González na CNEA e, em seguida, ao de Perón, que decidiu anunciá-la publicamente⁹⁹. Naquela ocasião, vale lembrar, os Estados Unidos ainda estavam a três meses do teste preliminar da configuração Teller-Ulam e a mais de um ano e meio da explosão “Ivy Mike” no oceano Pacífico.

Perón guardou o segredo por mais alguns dias e convocou coletiva de imprensa para a última semana de março de 1951 – não para permitir análise independente dos resultados obtidos por Richter, mas sim para potencializar o impacto de seu anúncio dentro e fora da Argentina. No plano interno, a cruzada do governo e de seus aliados contra o diário conservador “La Prensa” aproximava-se do paroxismo: o jornal foi expropriado nos primeiros dias de abril e transferido, na sequência, ao controle da Confederação Geral do Trabalho. No plano externo, por iniciativa estadunidense, foi realizada em Washington, de 26 de março a 7 de abril daquele ano, a IV Reunião de Consulta dos Chanceleres Americanos, que discutiu a cooperação político, militar e econômica para a segurança e a defesa do hemisfério ocidental – conferência na qual a Argentina persistiu na defesa de sua “terceira posição”, de não alinhamento aos blocos ocidental ou soviético¹⁰⁰.

Em 24 de março de 1951, dois dias antes da reunião ministerial de Washington, o presidente argentino anunciou, com pompa e circunstância, às autoridades e aos jornalistas reunidos na Casa Rosada que:

Ali [na ilha de Huemul], em oposição aos projetos estrangeiros [de fins bélicos], técnicos argentinos trabalharam a base de reações que são idênticas àquelas pelas quais se libera a energia atômica no Sol. Produzir tais reações requer enormes temperaturas, de milhões

99 Revista “El Periodista”, 7 de setembro de 1984.

100 LUNA, Félix. *Breve historia de los argentinos*, p. 233-234.

de graus. Por isso, o problema fundamental se radicava na forma de conseguir essas temperaturas. O passo próximo consistiu em injetar dentro da zona de reações os núcleos de que se precisava. Para evitar explosões catastróficas era preciso encontrar um processo pelo qual fosse possível controlar as reações termonucleares em cadeia. Esse objetivo quase impossível foi alcançado. Os resultados desses e muitos outros ensaios prévios conduziram à experiência decisiva de 16 de fevereiro último, em que se efetuou com êxito a liberação controlada da energia atômica. [...] Quis informar ao povo da República a seriedade e a veracidade, que são de meu costume, sobre um fato que será transcendental em sua vida futura e, não o duvido, para o mundo¹⁰¹.

Elaborado por Richter, já àquela altura naturalizado argentino, o discurso de Perón enfatizou a natureza pacífica das pesquisas em Huemul e chegou ao ponto de batizar os “reatores solares” com o nome fantasia de “Termotron”. Em recado direto aos Estados Unidos, acrescentou que os argentinos tiveram a oportunidade de estudar intensamente os “problemas da bomba de hidrogênio” e concluíram que “as publicações dos mais autorizados dos cientistas estrangeiros estão enormemente longe da realidade”. Já no recado ao povo argentino, Perón salientou que, tal como constavam nos fundamentos do decreto de criação da CNEA, a Argentina “necessita de energia atômica e está firmemente disposta a produzi-la, empregando-a nas usinas, altos fornos, fundições e demais aplicações industriais”. Concluiu com o esclarecimento de que, do ponto de vista do planejamento energético, o domínio da fusão nuclear seria “indispensável para o progresso da República porque nela, ao contrário do que ocorre em outros países, que têm suas usinas hidroelétricas, carvão ou petróleo perto de suas principais cidades e próximas entre si, nossos centros mais importantes estão distantes entre si e a longas distâncias das citadas usinas”¹⁰².

101 PERÓN, Juan Domingo. *Discurso de 24 de março de 1951* (texto em português com base na transcrição feita pelo diário “A Noite”, em 26 de março de 1951).

102 *Ibid.*

Terminado o pronunciamento presidencial, Ronald Richter permaneceu à disposição dos jornalistas, todos de língua espanhola, com os quais voltaria a se encontrar na manhã seguinte, na residência de Olivos. Arriscou-se a falar, inclusive, sobre política externa, ao argumentar que o programa de fusão contribuiria para o fortalecimento da “terceira posição”. Indo além das declarações de Perón, o físico garantiu que a Argentina “conhecia o segredo da bomba de hidrogênio há muito tempo”, mas que tomara a decisão ética de não perseguir esse caminho. Perguntado sobre a matéria-prima empregada no “Termotron”, Richter evitou entrar em detalhes, alegando que “assim como os outros têm super segredos, nós também temos os nossos, [...] mas simplesmente por motivos econômicos e industriais”. Agregou apenas que o processo argentino de energia de fusão não empregava “substâncias caras como o urânio 235”¹⁰³.

Como se aguardava na Casa Rosada, a repercussão mundial foi estrondosa. Na primeira página de sua edição de 25 de março, o “New York Times” informou que Perón anunciara nova forma de extrair “energia do átomo” por “reações termonucleares sem urânio, semelhantes às do Sol”. No Brasil, o “Correio da Manhã” também destacou nesse dia que “possui a Argentina o segredo da explosão atômica controlada”, e que “o mundo dependerá agora dos argentinos, esperam Perón e o Dr. Richter”¹⁰⁴. A reação da comunidade científica foi de ceticismo, sobretudo nos Estados Unidos, onde os comentários predominantes eram de que os argentinos não contariam com os recursos necessários para alcançar reação termonuclear controlada. Na síntese de Hans Thirring, diretor do Instituto de Física de Viena, haveria “50% de chances de Perón ter sido vítima de um lunático que acreditou em suas próprias fantasias, 40% de ter caído na conversa de um golpista, 9% de querer ele próprio enganar o mundo e só 1% de que

103 Correio da Manhã, 25 de março de 1951.

104 *Ibid.* Nessa edição, também mereciam destaque “a instalação da IV Reunião de Consultas de Chanceleres Americanos” e o “desmoronamento da última linha de defesa comunista na Coreia do Sul”.

tudo isso seja verdade”. Somente especialistas franceses consideraram plausíveis as afirmações de Perón e Richter¹⁰⁵. Ouvido pelo “Correio da Manhã” em reportagem de capa, o Almirante Álvaro Alberto – que acabara de assumir o comando do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e inaugurar o programa nuclear brasileiro – declarou com propriedade científica e diplomática:

Não posso garantir [que os argentinos tenham conseguido dominar a fusão nuclear, mas vale recordar] a observação de Glasstone de que “a produção de energia atômica por fusão é possibilidade para o futuro, não necessariamente o futuro imediato, porém, talvez, no devido tempo, quando a natureza dos núcleos atômicos for muito melhor conhecida do que o é hoje”. Se a energia pudesse ser obtida pela fusão de núcleos de hidrogênio, então a água do oceano constituiria imenso reservatório de potência, e o problema dos recursos em urânio seria sem significação. Essas palavras merecem meditação¹⁰⁶.

Em clima de euforia, o agora físico argentino foi condecorado com a “Medalha de Lealdade Peronista” e recebeu o título de Doutor *honoris causa* da Universidade de Buenos Aires. Em 17 de maio de 1951, com o propósito de promover o uso rápido e eficiente da descoberta, foi criada em Bariloche a “Planta Nacional de Energia Atômica”, vinculada à CNEA, mas sob a direção do próprio Richter¹⁰⁷. Contudo, a obrigação de apresentar resultados concretos parece ter acirrado seu comportamento errático e excêntrico e, em especial, seus temores de espionagem e sabotagem. Em 24 de junho, ainda interessado na repercussão midiática, o governo argentino organizou uma *press trip* internacional ao laboratório na Patagônia. Nessa ocasião, Richter surpreendeu novamente ao declarar que a Argentina poderia vender seus segredos nucleares “se houver condições para

105 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 76-77, e “Clarín”, 25 de março de 2001.

106 *Id.*, 1º de abril de 1951.

107 Decreto 9.697/1951 do Poder Executivo Nacional (disponível na base “Infoleg” do Ministério da Economia e Finanças Públicas da República Argentina).

um bom negócio” – alimentando dessa forma as especulações de que um acordo de cooperação estaria em negociação com os Países Baixos¹⁰⁸. Curiosamente, enquanto os jornalistas estrangeiros tinham acesso às instalações secretas de Huemul, suas portas permaneciam fechadas para os demais cientistas, inclusive os argentinos.

Era uma questão de tempo para que a verdade viesse à tona. Richter pode até ter descoberto algum fenômeno físico em 16 de fevereiro de 1951, mas evidentemente não logrou reações controladas de fusão nuclear. Com pouco a apresentar, exceto por teorias conspiratórias e críticas à deficiente infraestrutura industrial argentina, sua sobrevivência passou a depender dos humores de Perón, que, naquele momento, estava mais preocupado com o agravamento da saúde de sua esposa e com as eleições presidenciais de 11 de novembro. A gota de água ocorreria apenas em janeiro de 1952, quando Richter decidiu – sem autorização da Presidência da Nação ou da CNEA – transferir as instalações de Huemul para uma remota localidade com o ominoso nome de “Indio Muerto”. Ainda à frente da comissão nuclear, Enrique González levou o assunto ao conhecimento de Perón, que finalmente concordou em iniciar procedimentos de auditoria administrativa e de avaliação científica independente¹⁰⁹.

A partir desse momento, com o segundo governo peronista prestes a começar, as ações da Casa Rosada passaram a ser pautadas pelo interesse de controlar danos, mas, por incrível que pareça, Perón ainda dava a Richter o benefício da dúvida – o que contribuiu para a saída de González da CNEA. Seu substituto, o também militar Pedro Iraolagoitia, esteve em Huemul em abril de 1952, e chegou rapidamente à sua própria conclusão pessoal sobre o físico: “este tipo está loco”¹¹⁰. Enquanto isso, a conjuntura econômica interna dava sinais de rápida deterioração e, no forte inverno de 1952, a população

108 “The New York Times”, 25 de junho de 1951.

109 Revista “El Periodista”, 7 de setembro de 1984.

110 CERÓN, Sérgio. *La Argentina potencia* (artigo nº 267 da revista digital “Agenda de Reflexión”).

teve que conviver com o desabastecimento de carne e de cereais, além de cortes frequentes na eletricidade. Para culminar, em 26 de julho, morreria Eva Perón, símbolo da prosperidade e das ambições do primeiro mandato¹¹¹.

Graças ao empenho de Iraolagoitía, enviou-se a Huemul, em setembro de 1952, uma comissão de inquérito integrada por um militar, um padre católico astrônomo, dois engenheiros e apenas um físico – composição pouco ortodoxa que buscava neutralizar os sentimentos antiperonistas prevalentes à época na comunidade científica argentina. O relatório escrito pelo físico – José António Balseiro, que havia sido chamado às pressas de seus estudos de doutorado no Reino Unido – pode ser considerado como o marco inicial do verdadeiro programa nuclear argentino, tanto por sua qualidade técnica, quanto pela precisão de suas conclusões. No texto, Balseiro afirma que:

Las experiencias presenciadas no muestran en ninguna forma que se haya logrado realizar una reacción termonuclear controlada, tal como lo afirma el Dr. Richter. Todos los fenómenos que allí se observan no tienen ninguna relación con fenómenos de origen nuclear. Es de importancia señalar también, que la forma de operar del Dr. Richter deja mucho que desear del punto de vista del método científico. [...] Mi experiencia de trato con personas de formación científica y de criterios académicos me sugiere que actitudes tomadas por el Dr. Richter están lejos de poder ser interpretadas como las divulgadas excentricidades atribuidas a los hombres de ciencia. A esto debo añadir que en conversaciones mantenidas con el Dr. Richter sobre diversos temas de física ha mostrado, o un desconocimiento sorprendente en una persona que emprende una tarea de tal magnitud, o ideas muy personales sobre hechos y fenómenos bien fundados y conocidos¹¹².

111 ROMERO, Luis Alberto, *op. cit.*, p. 164-165.

112 COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR DA ARGENTINA (CNEA). *Informe del Dr. José Antonio Balseiro referente a la inspección realizada en la isla Huemul en Septiembre de 1952*. O relatório inclui textos de outros integrantes da comissão.

O relatório completo termina com a carta de um dos engenheiros, Mário Bâncora, reconhecendo que “no existe un fundamento científico serio en las afirmaciones del Dr. Richter de haber logrado una reacción termonuclear controlada” e, em indicador do impacto que sua leitura teria na Casa Rosada, lamentando “profundamente el haber tenido que llegar a esta conclusión”¹¹³. Perón ainda insistiu em ouvir a opinião de dois outros físicos (um deles estrangeiro) antes de render-se ao óbvio e autorizar o presidente da CNEA a fechar definitivamente as instalações de Huemul em 22 de novembro de 1952 – três semanas depois de os Estados Unidos explodirem sua primeira bomba termonuclear. Até hoje persiste a dúvida quanto ao volume das verbas públicas consumidas por Richter no projeto, que, segundo estimativas feitas por físicos argentinos, pode ter ultrapassado os trezentos milhões de dólares estadunidenses em valores de hoje¹¹⁴. O prejuízo talvez tenha sido muito maior para a imagem internacional da Argentina e, em particular, para a de Perón, que foi deposto três anos mais tarde por um golpe militar.

Ronald Richter entrou para o anedotário histórico argentino e para o folclore científico internacional (além de virar personagem de ópera em 2003)¹¹⁵. Edward Teller teria dito a seu respeito que “reading one line, one has to think he’s a genius; reading the next line, one realizes he’s crazy”¹¹⁶. Para a Argentina, a aventura de Richter acarretou o relançamento do programa nuclear em bases completamente distintas e mais sólidas. Prestigiado depois do relatório de setembro de 1952, Balseiro convenceu Perón a investir na formação e no aperfeiçoamento de cientistas, como a melhor forma de evitar novos descabros.

113 *Ibid.*

114 CARDONA, MANUEL et al. *Leopoldo Maximo Falicov*. Artigo disponível em: <biblioteca.cab.cnea.gov.ar/labiblioteca/leofalicov/biografia.pdf>. Em artigo de 2003 na revista “Physics Today”, Juan Roederer fala em 62 milhões de pesos argentinos, sem esclarecer se atuais ou da época. Outros autores, como Charles Seife, mencionam uma faixa entre 3,7 milhões e 70 milhões de dólares.

115 A ópera “Richter” (música de Mario Lorenzo e libretto de Esteban Buch) estreou no Teatro Colón, Buenos Aires, em 25 de setembro de 2003. Houve montagem também em Paris.

116 “ITER Newslines”, 26 de outubro de 2011.

Bariloche seguiu como importante centro de ensino, pesquisa e desenvolvimento, sede desde 1955 do Instituto Balseiro, referência internacional na formação de físicos e de engenheiros nucleares. Ali também estão o Centro Atômico de Bariloche, da CNEA, e a INVAP, estatal argentina de alta tecnologia, cujo nome vem de um auspicioso acrônimo: “pesquisa (*investigación*) aplicada”.

Diferentemente do que Richter fez Perón acreditar com a ficção de Huemul, o caminho da fusão nuclear controlada é demorado e árduo – ainda mais quando as aspirações políticas ou econômicas não estão em sintonia com o bom método científico. O projeto argentino de 1949-1952 não gerou qualquer conhecimento ou inovação direta, mas produziu um valioso efeito indireto, ao estimular autoridades e cientistas em todo o mundo a refletir sobre o tema. Entre eles estava um físico estadunidense da Universidade de Princeton, Lyman Spitzer, que entraria para a história da energia de fusão como o inventor da primeira “máquina experimental de engarrafar estrelas”.

1.4. Jogos olímpicos do plasma: cooperação e rivalidade na Guerra Fria

Nos Estados Unidos dos anos 1950, talvez com a exceção do programa de submarinos e reatores coordenado por Hyman Rickover, os empregos mais promissores para os físicos estavam na rede nacional de pesquisa e desenvolvimento de explosivos nucleares, uma prioridade presidencial que, além dos celebrados laboratórios de Los Alamos, Oak Ridge e Livermore, englobava atividades em algumas das principais universidades do país. Bom exemplo dessa lógica foi dado pelo astrofísico Lyman Spitzer, que deixou de lado trabalho acadêmico sobre as origens do sistema solar para contribuir, a partir de Princeton, com os esforços de Edward Teller na concepção e construção das primeiras bombas termonucleares. Em março de 1951, porém, após saber das notícias vindas da Argentina de Perón e Richter, Spitzer

passou a nutrir verdadeira obsessão pela fusão nuclear controlada, a tal ponto que pleiteou e obteve, ainda naquele ano, a autorização para dedicar-se apenas ao tema – decisão que a Comissão de Energia Atômica dos EUA (AEC) tomou, por sua vez, pela curiosidade gerada em torno do suposto êxito dos argentinos em Huemul¹¹⁷.

Outros cientistas, como o inglês George Thomson, já haviam pensado e até patenteado máquinas experimentais de reações termonucleares controladas na década de 1940, mas Lyman Spitzer foi o primeiro a projetar, construir e operar um aparelho do gênero, ao qual batizou de *stellarator*, a “máquina estelar”, em conceito que segue válido até os dias de hoje. Sua rota tecnológica é a do confinamento magnético, com o plasma contido e comprimido pela força de eletroímãs externos em uma câmara de vácuo no formato de “oito”. Sempre com a aplicação prática em mente, Spitzer visualizava a importância dos fatores temperatura, densidade e duração para viabilizar as reações de fusão e, com presciência, identificou que a energia cinética dos nêutrons rápidos delas resultantes poderia ser capturada e transformada em calor para uso em circuito secundário convencional¹¹⁸. Ou seja, um reator comercial de fusão funcionaria de modo similar ao dos reatores de fissão que Rickover estava desenvolvendo, mas sem ter de lidar com insumos como o urânio enriquecido ou o plutônio. O mais curioso é que essas ideias não estavam tão distantes assim das linhas gerais do trabalho de Ronald Richter na Argentina, com a enorme diferença de que este jamais as soube traduzir em formatos ou soluções concretas, talvez pela falta de rigor científico apontada no relatório de José António Balseiro.

Lyman Spitzer acreditava que os reatores de fusão seriam realidade já na década de 1960, mas, logo nas primeiras experiências do *stellarator*, em fins de 1952, ele e seus colaboradores perceberam que um dos desafios mais complexos estava em lidar com as turbulências

117 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 17-20.

118 McCracken, Garry; STOTT, Peter, *op. cit.*, p. 52-53.

imprevisíveis do plasma, para as quais não havia qualquer explicação teórica. Na simplificação de Edward Teller, que acompanhava o trabalho de Princeton apesar de já convertido em campeão das “explosões termonucleares pacíficas”, esse desafio era comparável ao de “segurar um pedaço de gelatina com alguns elásticos de borracha”¹¹⁹. Para Spitzer, a magnitude da tarefa exigiria grande esforço cooperativo em escala nacional e internacional, este último impossível enquanto as autoridades estadunidenses não voltassem atrás em sua decisão de classificar como secreto todo o trabalho em energia de fusão, tanto o realizado na Universidade de Princeton, quanto as linhas paralelas de pesquisa nos demais laboratórios nacionais¹²⁰.

Ao estabelecer a cortina de sigilo, é claro que Washington cogitava a aplicação bélica das eventuais descobertas dos projetos não explosivos, possibilidade que até um “falcão” como Teller reconhecia ser altamente improvável. Além disso, reciprocava a atitude de Moscou, que, por estar em relativo atraso na corrida nuclear, mostrava-se ainda mais zelosa no tratamento das realizações de seus cientistas nas duas modalidades de fusão, a descontrolada e a controlada. A propósito, ninguém personificava melhor a imagem do “gênio dual” que o russo Andrei Sakharov – capaz de desempenhar simultaneamente na União Soviética os papéis de liderança que, nos EUA, cabiam de certa forma a Teller e a Spitzer. A energia de fusão é área de grande complexidade técnica, e é evidente que nenhuma invenção nesse campo pode ser considerada obra de um único indivíduo. Todavia, sem menosprezar as contribuições de físicos como Igor Tamm ou Oleg Lavrentiev, não seria exagero dizer que Sakharov logrou a impressionante proeza de conceber em 1950 um aparelho de reações termonucleares controladas – o *tokamak*, cujo nome entraria

119 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 30.

120 *Ibid.*, p. 22. Como exemplo, a partir do conceito britânico de Thomson, o laboratório de Los Alamos desenvolveu sua própria máquina, que recebeu o nome de “Perhapsatron” – uma óbvia referência ao “Termotron” de Richter.

depois para o vocabulário quotidiano da fusão¹²¹ – e, cinco anos mais tarde, um artefato explosivo: a primeira bomba de hidrogênio da URSS¹²². Enquanto a confidencialidade da ciência da bomba era mais que compreensível¹²³, o compartilhamento de informações entre os programas não explosivos das duas superpotências teria encurtado as trilhas de Sakharov e de Spitzer, separadas pela lógica de competição e confrontação da Guerra Fria. Nunca e demais recordar que, quatro anos antes do surgimento do *stellarator* e do *tokamak*, George F. Kennan publicava na “Foreign Affairs” seu clássico artigo *The sources of soviet conduct* e preconizava a estratégia de “contenção”¹²⁴.

O programa “Átomos para a Paz”, lançado por Dwight Eisenhower em seu discurso de 1953 à Assembleia Geral das Nações Unidas, e a realização da I Conferência Internacional sobre os Usos Pacíficos da Energia Nuclear (Genebra, agosto de 1955) ajudaram a criar clima um pouco mais propício para a cooperação internacional, mas a ênfase encontrava-se na energia nuclear de fissão, o fundamento da conhecida “barganha básica” do regime de não proliferação. Sem a identificação de aplicações práticas de natureza pacífica, com a duvidosa exceção das PNEs, a energia de fusão ocupava lugar periférico. Ainda assim, o presidente da Conferência de Genebra, o físico indiano Homi J. Bhabha, aventurou-se a dizer que, em no máximo duas décadas, seria encontrado “um método para a extração de energia de reações termonucleares controladas”¹²⁵. Bhabha apenas reconhecia efeito galvanizador que a fusão nuclear exercia sobre o imaginário de autoridades, cientistas e do público em geral, em particular depois dos

121 No entanto, à diferença de Spitzer, Sakharov não seria responsável pela construção e operação de seu modelo, tarefa que caberia na década de 1960 a Lev Artsimovitch.

122 *Ibid.*, p. 33-37.

123 No entanto, o estadunidense David Lilienthal, primeiro presidente da *Atomic Energy Commission*, chegou a reconhecer em 1948 que a ideia de uma “fórmula secreta da bomba” seria uma “fraude gigantesca”. Vide ZALUAR, Achilles, *op. cit.*, p. 36.

124 Verdade seja dita, o artigo de Kennan refere-se à rivalidade política, mas, até pelo menos o final da década de 1960, seus efeitos eram sentidos nas relações EUA-URSS em outros campos, sobretudo no científico tecnológico.

125 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 68-69.

testes explosivos de 1952 em Elugelab e 1954 em Bikini (o primeiro grande teste termonuclear soviético só aconteceria três meses depois da reunião de Genebra).

A questão da abertura das informações sobre os programas de fusão – pré-requisito para uma real aproximação entre cientistas – só começou a ser encaminhada em abril de 1956, durante visita oficial de Nikita Khrushchov ao Reino Unido. Integrava a comitiva do premiê o físico Igor Kurchatov, diretor do projeto da bomba atômica soviética de 1949, que, em palestra no renomado centro britânico de Harwell, foi generoso em palavras e gráficos para descrever o conhecimento acumulado pela URSS com suas pesquisas em fusão nuclear controlada, citando até os nomes de Sakharov e de Tamm como pioneiros na utilização de “campos magnéticos para o isolamento térmico do plasma”¹²⁶. Mais do que uma apresentação técnica, a palestra serviu como extraordinário instrumento diplomático e de propaganda: alardeou o alto patamar científico e tecnológico galgado pela União Soviética, e ainda forçou os Estados Unidos, não sem alguma hesitação e demora, a tornar público seu programa em nome do progresso científico.

A abertura dos dados foi um passo importante, mas o caminho da energia de fusão enfrentou revés logo no início de 1958, quando o espectro de Huemul parece ter caído sobre os britânicos. Historicamente um grande centro gerador de conhecimento, o Reino Unido ostentava o mais avançado programa de fusão da Europa Ocidental e um físico britânico, John Lawson, havia recentemente formulado as equações matemáticas dos parâmetros de fusão (temperatura, densidade, duração) para a obtenção de balanços energéticos positivos. Londres desejava ampliar seu prestígio internacional com o projeto ZETA (*Zero Energy Thermonuclear Assembly*), uma máquina de

¹²⁶ KURCHATOV, Igor. *The possibility of producing termonuclear reactions in a gaseous discharge*, apresentação feita em Londres, 1956. Disponível em: <fire.pppl.gov/kurchatov_1956.pdf>.

confinamento magnético do tipo *pinch*¹²⁷ com a qual se pretendia obter balanço energético neutro ou ligeiramente positivo (daí o “*zero energy*” da sigla em inglês)¹²⁸. Embora a comparação com os experimentos de Richter não seja exatamente justa, uma vez que a base científica do ZETA era sólida e a máquina viria a ser muito útil do ponto de vista experimental, os cientistas britânicos cometeram o mesmo erro de avaliação precipitada e deixaram-se influenciar por questões de natureza política e de comunicação social.

Tal como previamente acertado por Londres e Washington, a contrapartida anglo-estadunidense à palestra de Kurchatov consistiu na divulgação simultânea dos primeiros resultados de seus programas de fusão na edição de janeiro de 1958 da revista científica *Nature*. Contudo, falsas expectativas quanto ao ZETA foram geradas pelo vazamento de informações sobre um teste preliminar, que teria registrado a emissão dos cobijados nêutrons de origem termonuclear. Pressionado pelo gabinete conservador de Harold Macmillan e por jornalistas, o diretor do centro nuclear de Harwell, John Cockcroft, convocou coletiva de imprensa em que afirmou estar “90% certo” de que a máquina havia atingido seus objetivos centrais¹²⁹. A repercussão na imprensa internacional foi semelhante à obtida por Perón, e, assim como em 1951, tudo não passou de um falso alarme. Houve erro grosseiro na interpretação da origem dos nêutrons, que não eram termonucleares. Tratava-se de sinal de outro desafio para a energia de fusão: a criação de instrumentos precisos para a medição de seus fenômenos. Saíram golpeados o prestígio científico britânico e, uma vez mais, a credibilidade da fusão. Saiu fortalecida a máxima de que pressão pública e rigor científico não costumam combinar¹³⁰.

127 Diferentemente do *stellarator*, o campo magnético dessa configuração é gerado por corrente dentro do próprio plasma, que é assim comprimido ou “pinçado”.

128 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 96-98.

129 McCRACKEN, Garry; STOTT, Peter, *op. cit.*, p. 58-59.

130 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 50.

Apesar dos prejuízos causados pelo episódio ZETA, a expectativa decorrente da abertura de informações manteve a energia de fusão no foco da II Conferência Internacional sobre os Usos Pacíficos da Energia Nuclear, realizada sob os auspícios das Nações Unidas em setembro de 1958, novamente em Genebra. Preocupados com a dianteira assumida pela União Soviética na corrida espacial (lançamento do *Sputnik* no ano anterior), os Estados Unidos não economizaram recursos para mostrar seus feitos nucleares e, entre outros aparelhos e modelos, levaram um *stellarator* completo para exibição e operação na Suíça. Propaganda à parte, o fato é que o colóquio científico – com a presença de mais de cinco mil autoridades e especialistas, entre eles o Almirante Otacílio Cunha, primeiro presidente da Comissão Nacional de Energia Nuclear – revelou que os três países mais avançados em fusão (EUA, URSS e Reino Unido) seguiam linhas impressionantemente parecidas, não obstante o sigilo prevalecente até os anos de 1956 a 1958. Todos tinham favorecido máquinas de confinamento magnético, circulares ou lineares, identificado as desconcertantes instabilidades do plasma e nenhum deles havia conseguido construir um reator digno do nome. O indiano Bhabha, talvez pensando em matizar suas otimistas declarações de 1955, viu na similaridade de abordagens e descobertas “an indication of what secrecy has cost the world for no useful purpose”¹³¹.

A reunião de 1958 serviu como uma espécie de marco fundador da comunidade internacional da fusão nuclear, que passaria a compartilhar informações científicas por uma rede informal de entendimentos bilaterais ou plurilaterais, e a contar também com o apoio da recém-instalada Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) – no cumprimento das atribuições elencadas pelo artigo III.A, alíneas 1 a 4, de seu estatuto (promoção do intercâmbio científico e tecnológico). Em 1960, a AIEA começou a publicação da revista *Nuclear*

131 *Ibid.*, p. 60.

Fusion e, a partir de 1961, a promoção das Conferências de Energia de Fusão (FEC), abrangendo todos os aspectos da pesquisa, teórica ou prática, relevantes para as reações de fusão nuclear controlada. Espaço privilegiado para a cooperação, e para a propaganda, essas conferências ganharam o adequado apelido de “jogos olímpicos do plasma” – reflexo também da variedade de seus anfitriões, em uma lista que revela os principais atores da fusão no passado e no presente: Salzburgo (1961), Culham (1965), Novosibirsk (1968), Madison/Wisconsin (1971), Tóquio (1974), Berchtesgaden (1976), Innsbruck (1978), Bruxelas (1980), Baltimore (1982), Londres (1984), Quioto (1986), Nice (1988), Washington (1990), Würzburg (1992), Sevilha (1994), Montreal (1996), Yokohama (1998), Sorrento (2000), Lyon (2002), Vilamoura (2004), Chengdu (2006), Genebra (2008), Daejeon (2010), San Diego (2012) e São Petersburgo (2014)¹³².

Contrariando todas as expectativas, os anos 1960 foram um dos piores momentos para a história da energia de fusão. O otimismo da década anterior foi substituído por um pessimismo proporcional ao crescente número de dificuldades encontradas no confinamento do plasma. Independente da configuração empregada, o aumento das temperaturas resultava em maiores instabilidades e as tentativas de controlá-las levavam a um esfriamento incompatível com reações termonucleares. Os orçamentos dos projetos começavam a ficar proibitivos e as sinergias com os programas militares haviam quase desaparecido. Naquele período, marcado por grande oferta de fontes fósseis e sem a consciência do problema climático, tampouco existia qualquer urgência no desenvolvimento de alternativas energéticas. Segundo resumem McCracken e Stott, “emphasis shifted from trying to achieve a quick breakthrough into developing a better understanding of the general properties of magnetized plasma by conducting more

132 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (AIEA). *Fusion Energy Conferences*. Disponível em: <iopscience.iop.org/0029-5515/page/Fusion_Energy_Conferences>. Alguns cientistas costumam incluir nessa lista a reunião de Genebra em 1958.

careful experiments with improved measurements”¹³³. Diante dessa falta de entendimento teórico sobre o plasma, a pesquisa seguia o método da tentativa e erro. A impressão era de que, em lugar de progredir, a fusão regredia, percepção acentuada após Spitzer ter decidido abandonar a área em 1966 e retornar à astronomia.

1.5. Da União Soviética para o mundo: a era dos *tokamaks*

Os “jogos olímpicos do plasma” de 1968 – organizados pela União Soviética em Novosibirsk, em plena Sibéria – devolveram parte do otimismo graças à apresentação dos promissores resultados obtidos pelo Instituto Kurchatov (Moscou) com a configuração inventada, em 1950, por Andrei Sakharov e Igor Tamm: o *tokamak*, a “câmara toroidal com bobinas magnéticas” (no original em russo, *toroidalnaia kamera s magnitnymi katushkami*). De modo muito resumido, esse modelo combina propriedades do *stellarator* de Spitzer com o das chamadas máquinas de *pinch* (como o ZETA britânico). O plasma de um *tokamak* é confinado dentro de câmara de vácuo na forma de um toroide (figura geométrica similar a uma argola ou aro) pela combinação de forças magnéticas geradas em dois campos: um poloidal (produzido principalmente pela corrente elétrica que circula no próprio plasma); e outro toroidal (produzido por eletroímãs externos)¹³⁴.

Na conferência de Novosibirsk, o diretor do programa soviético de fusão, o físico Lev Artsimovitch, informou à comunidade científica internacional que o *tokamak* T-3, com volume de apenas um metro cúbico, havia alcançado plasmas com as temperaturas recordes de dez milhões de graus centígrados pelo tempo de dez milésimos de segundo. Os números podem parecer pouco expressivos à luz das necessidades de um reator comercial de fusão, mas, para efeito de comparação, o

¹³³ McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 60.

¹³⁴ *Ibid.*, p. 95-96. No caso do *tokamak* de Cadarache, essas forças magnéticas estarão entre as mais intensas produzidas pelo ser humano e exigirão bobinas supercondutoras feitas, em parte, com o nióbio extraído em território brasileiro.

stellarator estadunidense mais avançado conseguia produzir plasmas de no máximo um milhão de graus centígrados e por apenas um milésimo de segundo. Além das vantagens intrínsecas da configuração magnética do aparelho de Sakharov e Tamm, os soviéticos haviam desenvolvido novas técnicas de remoção de impurezas na câmara de vácuo, aspecto de grande relevância para a construção de futuras máquinas mais potentes e eficientes¹³⁵.

Artsimovitch adiantou a intenção da União Soviética de desenvolver uma nova geração de *tokamaks* com melhores sistemas de aquecimento e maiores dimensões, capazes de atingir níveis próximos do almejado *breakeven* (o balanço energético positivo, tal como definido pelos parâmetros do britânico Lawson) e talvez até das chamadas condições de ignição¹³⁶. No caso da rota tecnológica do confinamento magnético, essas condições – que não se confundem com as da “ignição” de uma bomba de hidrogênio – significam reações termonucleares que, ao mesmo tempo, apresentam balanços energéticos positivos e são autossustentadas (ou seja, chegam a um ponto em que não há mais a necessidade de introduzir energia externa no plasma para mantê-las). Esses objetivos eram ambiciosos, pois as temperaturas alcançadas pelo T-3 soviético não chegavam sequer a um décimo das necessárias para a ignição¹³⁷.

A reação inicial à apresentação de Artsimovitch foi de considerável ceticismo, uma vez que o problema da qualidade dos instrumentos de medição – causa do fiasco britânico com o ZETA – continuava a gerar dúvidas a respeito da exatidão dos resultados. No caso dos *tokamaks* de Kurchatov, por exemplo, a temperatura não podia ser aferida diretamente (o que a diminuiria *ipso facto*), de modo que os números resultavam de cálculos complexos com base na pressão externa do plasma. A necessidade de aprimorar os

135 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 86.

136 *Ibid.*, p. 87.

137 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 111.

sistemas de diagnósticos levou a um dos primeiros exemplos bem-sucedidos de parceria internacional na área. Cientistas britânicos do laboratório nacional de Culham, aberto em 1960, haviam desenvolvido revolucionário método para medir a temperatura do plasma com base em raios *laser*, que não interferiam nas condições dentro da câmara de vácuo¹³⁸. Na conferência de 1968, URSS e Reino Unido concordaram em somar esforços para aferir com maior precisão o funcionamento de um *tokamak*. A intervenção soviética na Tchecoslováquia, poucos dias depois da reunião de Novosibirsk, atrasou em alguns meses o início das atividades conjuntas, mas, em agosto de 1969, os dados definitivos do termômetro britânico a *laser* confirmaram o excelente desempenho da invenção de Andrei Sakharov (que, em impressionante coincidência, publicou nessa época o ensaio “Reflexões sobre progresso, coexistência pacífica e liberdade intelectual” e seguiu o caminho da dissidência). Começava uma nova etapa da história da energia de fusão nuclear, a era dos *tokamaks*¹³⁹.

Conforme indicado por Lev Artsimovitch em 1968, o desenvolvimento do modelo soviético implicava tamanho – quanto maior a máquina, melhor seus resultados – e, por consequência, recursos humanos e financeiros sem precedentes. Além do custo dos aparelhos em si, que entravam na casa dos oito dígitos em dólares estadunidenses da época, as equipes necessárias para a construção e a operação dessa nova geração de máquinas teriam forçosamente de ultrapassar uma centena de pessoas. Os centros e laboratórios da nova era da fusão começavam a servir de casos paradigmáticos para a “grande ciência” e demandavam a contribuição não apenas de físicos e engenheiros, mas também a de gestores públicos – e, ocasionalmente, a de diplomatas, embora os programas ainda seguissem basicamente circunscritos às esferas nacionais até pelo menos o significativo ano

138 *Ibid.*, p. 96.

139 *Ibid.*, p. 97.

de 1973¹⁴⁰. Em resumo, o prosseguimento da jornada da fusão passou a depender, em escala inédita, da existência inequívoca de vontade política em seu favor.

No início dos anos 1970, havia pelo menos doze *tokamaks* em construção fora da União Soviética: cinco nos Estados Unidos, dois no Reino Unido, dois na França e três no Japão. Até a *alma mater* de Lyman Spitzer havia aposentado seu pioneiro programa de *stellarators* e iniciado a montagem de um *tokamak*, o *Princeton Large Torus* (PLT). Em 1971, exatos vinte anos depois de repercutir a coletiva de Juan Domingo Perón e Ronald Richter na Casa Rosada, o *New York Times* publicava editorial em defesa da fusão nuclear, recomendando ao governo de Richard Nixon um substancial aumento nas verbas alocadas ao programa estadunidense de pesquisa e desenvolvimento de reações termonucleares controladas, que estavam estagnadas havia uma década no patamar anual de trinta milhões de dólares daquele país¹⁴¹.

O renascimento do interesse pela fusão também se fez sentir na Agência Internacional de Energia Atômica, que criou em 1972 o Conselho Internacional de Pesquisa de Fusão (IFRC), como órgão permanente de assessoramento científico ao diretor-geral da organização¹⁴². No ano seguinte ao estabelecimento do IFRC, a guerra árabe-israelense do Yom Kippur alçou a energia – e mais especificamente o petróleo – a um papel inédito em termos geopolíticos e geoeconômicos. Nas palavras de Henry Kissinger, o choque de 1973 “altered irrevocably the world as it had grown up in the postwar period”¹⁴³. Diante desse quadro, a fusão nuclear passou a contar, nos países ocidentais desenvolvidos, com a vontade política necessária para o financiamento de projetos cada vez mais custosos, e também para o maior incentivo a parcerias internacionais.

140 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 112-113.

141 *Ibid.*, p. 103-104.

142 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (AIEA). *Facilitating Fusion Research*. Disponível em: <www.iaea.org/newscenter>.

143 YERGIN, Daniel. *The prize: the epic quest for oil, money and power*, p. 588.

Em novembro de 1973, Richard Nixon propôs à população dos Estados Unidos “set as our national goal, in the spirit of Apollo, with the determination of the Manhattan Project, that by the end of this decade we will have developed the potential to meet our own energy needs without depending on any foreign energy sources”¹⁴⁴. O programa local de fusão nuclear foi um dos beneficiários diretos dessa política de “independência energética” e, alguns meses depois do discurso presidencial, já nos estertores da gestão Nixon, a Universidade de Princeton recebeu autorização para a construção de um segundo grande *tokamak*, o TFTR, ainda maior que o PLT (que sequer tinha sido concluído)¹⁴⁵. O orçamento da pesquisa estadunidense em fusão saltou para cem milhões de dólares em 1975 e para trezentos milhões de dólares em 1977¹⁴⁶. No plano diplomático, em gesto de largo simbolismo e escasso conteúdo, os EUA e a União Soviética assinaram seu primeiro ato bilateral na área de fusão, o “Convênio para a Implementação de Projetos Conjuntos em Fusão Termonuclear Controlada e Física de Plasmas” de 6 de fevereiro de 1974.

Muito mais afetado pelo primeiro choque do petróleo que os Estados Unidos, o Japão elevou a energia de fusão nesse período à condição de “projeto nacional” – ao lado dos reatores nucleares regenerativos, do desenvolvimento marítimo e da exploração espacial. Apesar de o grau da vulnerabilidade energética japonesa recomendar a ênfase em alternativas de menor prazo de maturação, Tóquio – fiel a suas tradições de articulação público-privada – foi uma das primeiras capitais a perceber as vantagens da fusão nuclear como programa mobilizador de progresso tecnológico e industrial. Para a construção do primeiro grande *tokamak* japonês (o *Breakeven Plasma Test Facility*, mais tarde rebatizado como JT-60), conglomerados do porte de Hitachi, Mitsubishi e Toshiba passaram a lidar com novos

144 *Ibid.*, p. 599.

145 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 108-109.

146 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 119.

desafios tecnológicos, como bobinas supercondutoras e materiais ultrarresistentes e de baixa ativação, entre outras aplicações, permitindo a geração de inúmeros *spin-offs* em benefício da economia nipônica como um todo¹⁴⁷.

Na Europa Ocidental, a crise de 1973 contribuiu para que a energia de fusão cumprisse outro papel indutor: o de instrumento para a integração regional. Em coincidência histórica, o Reino Unido acabava de ingressar na Comunidade Econômica Europeia e na Euratom, trazendo consigo as décadas de experiência acumulada nos centros de Harwell e Culham. A ideia de um esforço comum para a construção e operação de uma grande *tokamak* europeu fazia evidente sentido, e a Euratom encomendou a elaboração de projeto conceitual a grupo de trabalho coordenado pelo físico francês Paul-Henri Rebut (que vinte anos depois assumiria função semelhante no projeto do ITER). O resultado foi o JET, o Toroide Europeu Conjunto, inaugurado em 1984 e, até os dias de hoje, o maior e mais avançado reator experimental do mundo – pioneiro na comprovação da viabilidade científica da fusão nuclear controlada com o combustível deutério-trítio (mas ainda sem alcançar o *breakeven* e muito menos as condições de ignição)¹⁴⁸.

Ironicamente, as discussões técnicas do GT coordenado por Rebut representaram a parte menos problemática da iniciativa europeia. Houve consenso de que a máquina deveria ser grande, com volume aproximado de cem metros cúbicos (ou seja, cem vezes maior que o T-3 soviético de 1968), e de que seus objetivos programáticos deveriam ser ambiciosos: estudar o plasma em condições e dimensões semelhantes às necessárias para a operação de um reator termonuclear. Isso exigiria inovações nas técnicas de aquecimento – entre outras, com o aumento da corrente elétrica no plasma e o emprego intenso de micro-ondas – e nos sistemas de diagnóstico e de manutenção remota.

147 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 110-114.

148 MASSEY, Andrew. *The Joint European Torus (JET): an historical case study in European public policy* (artigo).

Como a ideia central era a de contribuir para o desenvolvimento de máquinas muito maiores, ou até de protótipos de reator, o JET incorporou a abordagem da extrapolação de escala, a mesma hoje utilizada pelo ITER. Em outras palavras, muitos dos componentes de ambos os projetos podem ser considerados como “miniaturas” de um futuro reator nucleolétrico¹⁴⁹.

No plano político, o caminho do JET foi acidentado. As dificuldades começaram com a própria denominação do projeto, que em princípio se chamaria *Tokamak* Europeu Conjunto (a sigla em inglês continuaria a mesma). Diante do veto alemão a palavras de origem russa, concordou-se afinal em fazer referência ao formato geométrico “toroide”, e não à configuração da máquina (não obstante, o JET era e continua a ser um *tokamak*). O problema mais grave – que ecoou trinta anos depois no ITER – foi a disputa política pela condição de país anfitrião. Além do Reino Unido, entraram na disputa a França (com Cadarache, na Provença), a Itália (Ispra, Lombardia) e, em especial, a Alemanha Ocidental (Garching, Baviera), que, por ter programa relativamente modesto e baseado no conceito mais antiquado dos *stellarators*, buscava no experimento pan-europeu a oportunidade de um salto tecnológico. A competição teuto-britânica atrasou a iniciativa em pelo menos dois anos e seria resolvida somente em outubro de 1977 de forma pouco usual. O governo britânico ajudou o alemão na operação de resgate, na capital da Somália, de um avião da Lufthansa sequestrado pelo grupo terrorista Baader-Meinhof. Em gratidão, o então Chanceler Federal Helmut Schmidt retirou a candidatura germânica de Garching, o centro nuclear de Culham (vinte quilômetros ao sul de Oxford) foi enfim o escolhido e o projeto JET pode ser aprovado pelas autoridades comunitárias no formato supranacional de um *joint undertaking*¹⁵⁰.

149 *Ibid.*

150 McCracken, Garry, STOTT, Peter, *op. cit.*, p. 112.

Enquanto a Europa Ocidental discutia a localização do JET, a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) criou em 1974, na esteira do primeiro choque do petróleo, órgão autônomo especializado em questões energéticas (na prática, uma resposta à OPEP)¹⁵¹. A Agência Internacional de Energia (AIE) – espaço de articulação política, econômica e tecnológica entre os países-membros da OCDE – não demorou um ano para lançar seu Comitê de Coordenação de Energia de Fusão (FPCC), com a missão de promover a pesquisa e o desenvolvimento das reações termonucleares controladas. Em 1977, foram assinados os primeiros acordos de implementação tecnológica (*implementing agreements*) do FPCC em áreas como bobinas supercondutoras e materiais especiais para exposição a plasmas. Entre os signatários desses *implementing agreements* (na verdade, redes informais de pesquisa) estavam Canadá, EUA, Euratom, Japão, Suíça e Turquia¹⁵².

Em janeiro de 1978, a Agência Internacional de Energia Atômica tomou a dianteira e propôs esforço internacional ampliado – algo que, por razões óbvias, a AIE jamais teria condições de promover. Na proposta feita pelo então diretor-geral da AIEA, o sueco Sigvard Ecklund, a abordagem técnica do JET seria extrapolada para o sistema das Nações Unidas, com o estabelecimento de grupo de trabalho voltado à elaboração do projeto conceitual de um *next step reactor*, baseado no conceito dos *tokamaks*. A proposta foi encampada pela União Soviética e angariou o apoio dos demais protagonistas da pesquisa de fusão em fins dos anos 1970 (EUA, Europa Ocidental e Japão). A AIEA logrou então criar um comitê de especialistas, vinculado ao IFRC, com a missão de:

- 1) review and discuss the results of existing studies of next-step proposals and experimental power reactors; 2) survey the results

151 YERGIN, Daniel. *The prize: the epic quest for oil, money and power*, p. 653-654.

152 DEPARTAMENTO DE ESTADO DOS EUA. *Treaties in force: a list of treaties and other international agreements of the United States in force on January 1, 2008*, p. 355.

of experiments, theory and associated technology planned to be available in the early 1980s; 3) make recommendations of the aims, outline technical realization and resource requirements of a possible next step, indicating the alternatives considered; and 4) identify the problem areas that need to be tackled before the construction of the next step.¹⁵³

Esse comitê começou a trabalhar em fins de 1978, com o nome de “INTOR *Workshop*”¹⁵⁴, e ofereceu valiosa contribuição técnica à energia de fusão, que foi posteriormente incorporada pelo ITER.

A ascensão dos *tokamaks* coincidiu, portanto, com a crise do primeiro choque do petróleo. Foi essa combinação – de uma tecnologia promissora com as urgentes necessidades econômicas e/ou estratégicas – que tornou possível o extenso panorama acima descrito e analisado. Os programas nacionais e, no caso da Euratom, supranacionais receberam impulso adicional em 1979, com o segundo choque do petróleo. No início de 1980, a pesquisa e desenvolvimento em fusão no mundo contava com um total de trezentas máquinas experimentais, sendo 73 *tokamaks*, e um orçamento global equivalente a 1,3 bilhão de dólares estadunidenses ao ano. Ainda em 1980, com o apoio de Jimmy Carter, os EUA passaram a contar com lei específica de incentivo à fusão, a “Magnetic Fusion Energy Engineering Act”, que estabelecia meta nacional para a operação de um reator de demonstração até o ano 2000, objetivo que se transformaria em letra morta na administração seguinte¹⁵⁵.

O ímpeto da década de 1950 havia sido retomado, mas, a despeito das inaugurações e dos novos recordes de temperatura ou de potência, o objetivo maior – o desenvolvimento de um reator de

153 STACEY, Weston M. *The quest for a fusion energy reactor: an insider's account of the INTOR WORKSHOP*, p. 17.

154 INTOR é a sigla para *International Tokamak Reactor*. Segundo Weston Stacey (*vide nota acima*), a intenção inicial dos cientistas era batizar o projeto de UNITOR (*United Nations International Tokamak Reactor*), mas desistiram ao saber que a referência a “Nações Unidas” implicaria aprovação pela Assembleia-Geral.

155 Estimativas do Departamento de Estado dos EUA *apud* HERMAN, Robin.

fusão simultaneamente viável nos planos científico, tecnológico e econômico – continuava distante, sempre a vinte ou trinta anos no futuro. A União Soviética, que assumira a vanguarda tecnológica da fusão com o *tokamak*, voltou a tomar a dianteira em meados dos anos 1980, desta vez com uma iniciativa político-diplomática que levou à criação da Organização ITER.

1.6. As cúpulas Reagan-Gorbatchov: os primeiros passos do ITER

A eleição de Mikhail Gorbatchov para o cargo de secretário-geral do Partido Comunista da URSS, em 1985, foi o prenúncio do fim do “Breve Século XX” de Hobsbawm, embora poucos pudessem imaginar isso à época. O novo líder soviético trouxe, em um primeiro momento, a esperança de reformas políticas e econômicas na esfera interna (*glasnost* e *perestroika*) e, na externa, a perspectiva de nova etapa de coexistência pacífica entre as superpotências, com o abandono da corrida armamentista nuclear. Vale lembrar que dois anos antes da ascensão de Gorbatchov, Ronald Reagan – com o patrocínio científico de ninguém menos que Edward Teller¹⁵⁶ – lançara sua “Iniciativa de Defesa Estratégica” (SDI), com propriedade apelidada de “Guerra nas Estrelas”, usando tecnologia que, como veremos, foi aprimorada em conjunto com a outra grande rota da energia de fusão. A nova administração em Moscou ia em direção oposta de Reagan e, em lugar de tentar exportar a confrontação para o espaço, buscava encerrar de vez a Guerra Fria¹⁵⁷.

O primeiro encontro de cúpula entre Gorbatchov e Reagan ocorreu em Genebra, em 21 de novembro de 1985, e teve a agenda naturalmente dominada pelos temas de segurança e desarmamento, sem qualquer resultado concreto. A agenda positiva veio de pontos

156 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 71-72. O cientista estadunidense Isidor Rabi, Nobel de Física em 1944, disse certa vez que Teller jamais esteve ao lado da paz e era provavelmente “um dos grandes inimigos da humanidade”.

157 HOBBSAWM, Eric, *op. cit.*, p. 245-248.

como o estímulo ao intercâmbio cultural e a abertura recíproca de novos Consulados, bem como de uma proposta específica feita pelo mandatário soviético ao estadunidense: a criação de parceria bilateral para a pesquisa em energia de fusão. Conforme registra o comunicado conjunto da reunião de Genebra,

the two leaders emphasized the potential importance of the work aimed at utilizing controlled thermonuclear fusion for peaceful purposes and, in this connection, advocated the widest practicable development of international cooperation in obtaining this source of energy, which is essentially inexhaustible, for the benefit for all mankind¹⁵⁸.

Logo após seu retorno da Europa, em discurso proferido no Congresso dos EUA, Reagan pareceu ter demonstrado pouco entusiasmo pela ideia, que mereceu uma superficial menção ao desejo comum de explorar “the feasibility of developing fusion energy”¹⁵⁹. Segundo relata o físico Weston Stacey, o especialista dos Estados Unidos no “INTOR *Workshop*”, a proposta de Gorbatchov sobre fusão não havia sido antecipada e ninguém na comitiva de Reagan entendia do assunto. Coube ao Departamento de Energia reagir, algumas semanas mais tarde, com a contraproposta de envolvimento de europeus e japoneses, na linha do que já se fazia, no marco da AIEA, com o INTOR. Apesar do receio de que a ampliação dos membros da iniciativa fosse uma manobra protelatória de Washington, os soviéticos aceitaram. Sua motivação era pragmática: a de avançar no desenvolvimento dos grandes *tokamaks* e, simultaneamente,

158 Comunicado Conjunto EUA-URSS de 21 de novembro de 1985. Disponível na página da “Biblioteca Presidencial Ronald Reagan” na internet: <www.reagan.utexas.edu>.

159 Vídeo com o discurso de Reagan encontra-se disponível em: <millercenter.org/president/speeches> (Miller Center, Universidade da Virgínia). É interessante notar que a menção à energia de fusão é o único momento em que a impecável oratória de Reagan fraqueja (ele mostra dificuldade em ler o termo “nuclear fusion energy”).

racionalizar investimentos no contexto da reestruturação econômica da gestão Gorbatchov¹⁶⁰.

O progresso das negociações foi relativamente lento, mas gerou forte interesse na União Soviética, a tal ponto que Andrei Sakharov, ao retornar a Moscou após sete anos de banimento em Gorki, declarou a intenção de retomar seus estudos dos “problemas da energia termonuclear” (algo que o inventor do *tokamak* não teria tempo de fazer, pois morreria menos de três anos depois)¹⁶¹. Na cúpula Gorbatchov-Reagan de Washington, em dezembro de 1987, formalizou-se a concordância de EUA e URSS em cooperar com Euratom e Japão, “under the auspices of the International Atomic Energy Agency, in the quadripartite conceptual design of a fusion test reactor”¹⁶². Em abril de 1988, formou-se o grupo de trabalho do projeto conceitual do reator, dando sequência ao processo de dez anos do INTOR. À diferença deste, um *workshop* científico, a iniciativa quadripartite teria acentuado caráter político (afinal, era uma vitrine da cooperação Leste-Oeste) e contemplava a efetiva construção e operação de uma máquina. A primeira providência do GT foi a definição do nome do novo *tokamak* como “Reator Experimental Termonuclear Internacional”, ou ITER – denominação que seria oficialmente reconhecida no comunicado conjunto da última cúpula entre Reagan e Gorbatchov, realizada em Moscou, em 1º de junho de 1988.

Tendo por metas o *breakeven* e a ignição, o grupo de trabalho do ITER concluiu a versão preliminar do projeto conceitual do reator em dezembro de 1990 – ou seja, um ano antes da dissolução da União Soviética. A etapa seguinte, a elaboração do projeto pormenorizado de engenharia, sofreu atrasos com as mudanças políticas em Moscou, e prosseguiu somente em 21 de julho de 1992, em Washington, com a assinatura de um acordo internacional por Euratom, Estados

160 STACEY, Weston M, *op. cit.*, p. 144-145.

161 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 223-224.

162 Comunicado Conjunto EUA-URSS de 10 de dezembro de 1987 (“Biblioteca Presidencial Ronald Reagan”).

Unidos, Federação Russa e Japão – incluindo a participação de Suíça e Canadá como membros associados aos europeus e do Cazaquistão aos russos¹⁶³.

A fim de angariar o mais amplo apoio político entre as Partes, o acordo de 1992 estabeleceu que as atividades de detalhamento do projeto – com duração máxima de seis anos – seriam conduzidas de forma descentralizada em três escritórios técnicos (Naka no Japão, San Diego nos EUA e Garching na Alemanha) e, posteriormente, compiladas e pré-aprovadas por uma entidade central, o Conselho ITER¹⁶⁴. Essa estratégia já incluía a lógica da repartição dos benefícios tecnológicos e econômicos por meio de um orçamento *in kind* e do uso de unidade especial de conta (a IUA), mas não logrou a mobilização esperada em virtude de três questões principais: i) o descompasso entre as pretensões iniciais do ITER e a realidade econômica dos membros, sobretudo países como Rússia e Japão; ii) a diminuição do interesse político pelo projeto, em parte pelo fim da Guerra Fria e pela queda nos preços do petróleo; e iii) o receio das diferentes comunidades científicas de que o ITER, ao monopolizar os escassos recursos orçamentários, inviabilizasse os programas domésticos de fusão, em lugar de incentivá-los. Tampouco ajudou o nível de ambição do primeiro diretor técnico do projeto, o francês Paul-Henri Rebut, o mesmo que havia coordenado o GT do JET entre 1973 e 1975. Rebut desejava acelerar o processo e partir diretamente para uma máquina com dimensões próximas às de um reator de demonstração, com potência térmica de 1,5 GWt. Por pressão dos EUA, o francês foi afastado da iniciativa em 1994¹⁶⁵.

Mesmo sem Rebut à frente, o projeto de engenharia apresentado em 1998 era ambicioso e previa um custo total de cerca de dez bilhões de dólares estadunidenses. Foi considerado inadequado pelas Partes.

163 ITER. *Engineering Design Activities (EDA) Agreement*.

164 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 125.

165 Revista “The New Yorker”, 3 de março de 2014.

O Japão pediu um adiamento das atividades do ITER e os Estados Unidos simplesmente as abandonaram em 1999, após decisão desfavorável da comissão orçamentária do Legislativo, em contexto de diminuição do volume de verbas públicas destinadas à pesquisa em fusão¹⁶⁶. Sem muitas alternativas, as Partes restantes (europeus, russos e japoneses) acertaram a extensão dos trabalhos técnicos por mais três anos e encomendaram ao novo diretor técnico, o também francês Robert Aymar, um projeto mais modesto, batizado de ITER-FEAT (“ITER *Fusion Energy Advanced Tokamak*”). Apesar de suas menores dimensões, o ITER-FEAT teria condições de atingir balanço energético positivo (mas não a ignição) e demonstrar a viabilidade científica e tecnológica da fusão. A versão revista foi finalizada em 2000 e aprovada em julho de 2001, com um custo estimado em cinco bilhões de dólares/EUA¹⁶⁷. O relatório do projeto de engenharia pressupõe que “an international ITER Project entity will be established with its staff to take responsibility for jointly implementing ITER on behalf of the Parties”¹⁶⁸.

Assim como ocorrera com o JET nos anos 1970, a aprovação do projeto desencadeou imediata disputa pelo local de construção do *tokamak*. O Canadá – membro associado da Euratom por intermédio de uma parceria público-privada – lançou a primeira candidatura, a do complexo de Darlington, em Ontario. Esse interesse tinha uma explicação econômica e técnica: as usinas nucleares canadenses são de tecnologia CANDU (reatores de água pesada movidos a urânio não enriquecido) e geram grandes quantidades de trítio como subproduto, que, por sua vez, poderia ser empregado como combustível no reator experimental de fusão¹⁶⁹. A candidatura do Canadá, no entanto, não

166 O mais avançado *tokamak* dos EUA, o TFTR de Princeton, criado logo depois do choque do petróleo de 1973, foi desativado em 1997. O TFTR detém até hoje o recorde de temperatura em um *tokamak*: quinhentos milhões de graus centígrados.

167 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 206-208.

168 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA. *Final report of the ITER engineering design activities*, p. 16.

169 VARANDAS, Carlos, *op. cit.*

chegou a ser propriamente considerada (o que levou Ottawa a romper seus vínculos com o projeto em 2004), e a disputa ficaria entre a França (com o complexo de Cadarache, que havia participado do pleito inicial pelo JET) e o Japão (com o complexo de Rokkasho-mura no extremo norte da ilha de Honshu)¹⁷⁰.

Em 2003, os Estados Unidos decidiram retornar ao projeto graças ao *lobby* conjunto de sua comunidade científica, preocupada com a contínua diminuição dos orçamentos para a fusão, e de empresas privadas como a General Atomics, interessada nos ganhos financeiros e tecnológicos proporcionados pelo ITER. Adicionalmente, no contexto dos preparativos para a invasão do Iraque, o regresso a um projeto cooperativo internacional constituiu conveniência política para a unilateral gestão de George W. Bush (e os estadunidenses voltariam em tempo, aliás, de prejudicar a candidatura francesa de Cadarache, como retaliação pelo posicionamento de Paris no conflito iraquiano). Além do retorno dos EUA, o ITER ganhou, em 2003, inédita representatividade global por meio do ingresso da China e da República da Coreia, ambos com incipientes, porém ambiciosos, programas nacionais de energia de fusão. A Índia os seguiu no final de 2005, completando a relação das Partes que assinaram o acordo constitutivo da Organização ITER em novembro de 2006¹⁷¹. O Brasil também foi cogitado como membro fundador, em episódio que é abordado no capítulo 5.

No primeiro semestre de 2005, porém, ainda restava definir o local de construção do reator. Representante da Euratom, o complexo francês de Cadarache contava com o apoio de russos e chineses, enquanto Rokkasho tinha apenas o voto declarado dos EUA (a Coreia mantinha distância da disputa e apoiaria o eventual consenso dos demais)¹⁷². O debate vinha se arrastando desde 2002 e

170 Rokkasho é sede do complexo japonês de reprocessamento de combustível nuclear. A Espanha também chegou a apresentar a candidatura de Barcelona, retirada em favor de candidatura comum europeia.

171 VARANDAS, Carlos, *op. cit.*

172 "The Economist", 5 de fevereiro de 2004.

foi muito acirrado, inclusive com a produção de “dossiês” contra uma e outra candidatura (curiosamente, a carta da propensão do Japão a terremotos não pôde ser utilizada pelos europeus, uma vez que a região de Cadarache também é sísmica). Ao final, em reunião realizada em 28 de junho de 2005, Tóquio cedeu em troca do compromisso de que os diretores-gerais da Organização fossem japoneses e, sobretudo, da negociação de acordo bilateral com a Euratom (o *Broader Approach*, ou “Abordagem Ampla”), que assegurava Rokkasho como sede do laboratório de teste de materiais para fusão (IFMIF) e do centro de estudos do reator de demonstração (IFERC), bem como garantia que uma parcela das contribuições europeias *in kind* seriam encomendadas no Japão¹⁷³.

A escolha de Cadarache como sede do ITER deu a Jacques Chirac, então presidente francês, o privilégio de inaugurar, em cerimônia no Palácio do Eliseu o mais recente capítulo na história da fusão nuclear, qualificada como uma “aventura excepcional” em todos os sentidos:

Exceptionnelle par son ambition scientifique: dompter le feu solaire, pour relever le défi de l'énergie écologique. Exceptionnelle par son envergure internationale: l'association sans précédent de sept grands partenaires du Nord et du Sud, dont je salue chaleureusement les représentants, ici présents. L'Europe et la France sont particulièrement sensibles à l'honneur que vous leur faites en choisissant Cadarache pour accueillir l'installation. [...] Si rien ne change, l'humanité aura consommé en deux cents ans l'essentiel des ressources fossiles accumulées pendant des centaines de millions d'années, provoquant en même temps un véritable séisme climatique. Nous avons le devoir d'engager les recherches qui prépareront des solutions énergétiques pour nos descendants¹⁷⁴ (grifos nossos).

173 STACEY, Weston M, *op. cit.*, p. 158-160. Em março de 2015, o Japão concordou em ceder a Direção-Geral da OI-ITER ao francês Bernard Bigot.

174 “Allocution de M. Jacques CHIRAC, Président de la République, à l'occasion de la cérémonie de signature de l'accord international ITER sur la fusion nucléaire contrôlée”, Paris, le 21 novembre 2006. Disponível em: <www.jacqueschirac-asso.fr>.

Chirac apontou com precisão a natureza excepcional da organização internacional que então se criava, com negociações que começaram em configuração Leste-Oeste e terminaram Norte-Sul. Salientou, ainda, as duas principais motivações para a aposta europeia no ITER: as mudanças climáticas e as perspectivas de esgotamento das fontes fósseis. Começava, assim, em 21 de novembro de 2006 – exatos vinte e um anos depois da cúpula Reagan-Gorbatchov de Genebra – a mais nova era da energia de fusão: a “era da OI-ITER”.

1.7. Outras rotas tecnológicas: vias inerciais e sem-saída

De certa forma, a era da OI-ITER é uma continuação da era dos *tokamaks*. A rota tecnológica do confinamento magnético é, com efeito, a mais promissora e a única com suficiente grau de maturação para justificar o esforço cooperativo internacional do projeto de Cadarache. Essa rota admite uma série de variações, como a dos *tokamaks* esféricos, a das máquinas de *pinch* reverso ou a dos novos *stellarators* de desenho alemão, mas tais configurações vêm sendo desenvolvidas por vários países em abordagem complementar, e não necessariamente como uma alternativa aos trabalhos do ITER (essas variações poderão ser muito úteis na definição de um ou mais conceitos de reatores comerciais magnéticos). Como antecipado na introdução, a energia de fusão conta, no entanto, com outra grande rota digna de menção, embora bem menos testada e muito mais complexa que a magnética: a do confinamento inercial a *laser*¹⁷⁵.

Na década de 1970, cientistas do laboratório estadunidense de Livermore (o mesmo de Edward Teller) tiveram a ideia de utilizar os recém-criados raios *laser* de altíssima potência para comprimir e aquecer minúsculas cápsulas de hidrogênio e, com isso, produzir miniexplosões termonucleares em sequência, cuja energia poderia

175 As principais rotas tecnológicas da energia de fusão são apresentadas em maior detalhe nos anexos.

ser utilizada para a geração de eletricidade. Assim como na rota magnética, a aplicação prática do confinamento a *laser* pressupõe temperaturas superiores a cem milhões de graus centígrados. A “ignição” do combustível por inércia não tem, porém, o sentido das reações autossustentadas em um *tokamak*, mas sim o da colossal compressão de uma bomba de hi-drogênio (com a diferença de que a força dos explosivos primários de fissão é substituída pela dos feixes de *laser*). Como as quantidades de deutério e trítio nas cápsulas são ínfimas, medidas em milionésimos de grama, é possível manter o controle das reações termonucleares¹⁷⁶.

A maior parte do conhecimento sobre o confinamento a *laser* foi acumulada pelos Estados Unidos, em pesquisa conduzida por diferentes equipes de Livermore a partir de 1974 (projetos Janus, Argus e Shiva). A experiência revelou que essa rota exigiria o desenvolvimento de *lasers* com intensidade centenas de vezes superior à inicialmente imaginada, bem como a concepção de cápsulas especiais de combustível, capazes de comprimir o hidrogênio de modo uniforme (as instabilidades do plasma em um *tokamak* ou um *stellarator* também existiam na escala minúscula do confinamento inercial). Esses obstáculos deixaram patente que a criação de reator nucleoeletrônico baseado na rota inercial demandaria muitas décadas de pesquisa¹⁷⁷. Conforme observa o físico brasileiro Ricardo Galvão, secretário-executivo da Rede Nacional de Fusão, “difícilmente o confinamento inercial terá aplicação prática, pois é muito difícil imaginar instalação de energia com 200 *lasers* de altíssima potência, que ocupam espaços enormes e [precisam de] um intervalo de pelo menos 10 minutos entre cada implosão”¹⁷⁸.

Apesar dos desafios tecnológicos e dos altos custos, o confinamento inercial apresenta uma considerável vantagem em relação

176 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 69-70.

177 *Ibid.*, p. 75-76,

178 Entrevista do prof. dr. Ricardo Galvão ao “Ciência Hoje”, 12 de fevereiro de 2014.

ao magnético na disputa por fatias do orçamento estadunidense: seu uso militar em ao menos duas vertentes. A primeira está em projetos como o da “Iniciativa Estratégica de Defesa” dos anos 1980 – a “Guerra nas Estrelas” advogada por Ronald Reagan e Edward Teller. Os *lasers* ultraintensos e de alta precisão podem servir tanto à pesquisa da fusão inercial, quanto ao desenvolvimento de novos armamentos. A segunda vertente encontra-se na substituição dos testes nucleares (mesmo sem ratificar o CTBT, os EUA não os realizam desde 1992). Um laboratório de fusão inercial pode ser perfeitamente utilizado como complemento às simulações feitas em supercomputadores militares, seja para calibrar seus *softwares* e garantir o bom desempenho do estoque de bombas existentes, seja para desenvolver novas variantes de explosivos¹⁷⁹.

Essa lógica dual assegurou o apoio do Executivo e do Legislativo dos EUA para a criação do projeto NOVA nos anos 1980 (ao custo de aproximadamente duzentos milhões de dólares) e da Instalação Nacional de Ignição (NIF) nos anos 2000 (com custo total estimado em quatro bilhões de dólares), ambos vinculados ao centro de Livermore. Devotada aos usos pacíficos da fusão nuclear inercial, embora parcialmente financiada por verbas do orçamento militar estadunidense, a NIF costuma ser comparada ao ITER nos meios de comunicação. Em fevereiro de 2014, obteve grande repercussão midiática com o anúncio de primeira série de experimentos bem-sucedidos, embora distante do almejado balanço positivo. A energia gerada pela implosão das cápsulas de deutério-trítio não chegou sequer a 1% da energia consumida pelos *lasers* da NIF, que está, assim, muito aquém de seus congêneres magnéticos. Na opinião do jornalista científico Charles Seife, “NIF isn’t truly about energy, [...] it is about keeping the United States weapons community going in the absence of nuclear tests”¹⁸⁰. O sigilo daí decorrente inviabiliza qualquer esforço autêntico de cooperação internacional, e a fusão inercial deverá

179 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 171-172.

180 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 214;

continuar restrita, assim, a programas nacionais de caráter civil-militar¹⁸¹.

A análise do confinamento a *laser* neste livro serve tão somente para demonstrar a existência de ao menos uma rota alternativa à do confinamento magnético. Outras poderão surgir no futuro, mas é improvável que entre elas esteja a da chamada “fusão a frio” – e sua menção aqui serve apenas como mais um alerta da perigosa interação entre política, comunicação e ciência sem escrúpulos. O episódio mais conhecido dessa suposta rota tecnológica ocorreu nos EUA em fins da década de 1980, quando dois químicos da Universidade de Utah, Stanley Pons e Martin Fleischmann, iniciaram pesquisas com a eletrólise de água pesada¹⁸². A partir de resultados incompletos, obtidos sem o devido rigor científico, Pons e Fleischmann anunciaram em uma coletiva de imprensa, em 23 de março de 1989, que haviam logrado gerar energia de fusão com uma simples célula eletroquímica¹⁸³. A repercussão dentro e fora dos EUA foi imediata e potencializada por uma sucessão de erros em outras universidades e laboratórios do mundo inteiro – em clássico exemplo do fenômeno batizado pelo físico Irving Langmuir como “ciência patológica”¹⁸⁴.

Por algumas semanas, a comunidade científica internacional e o público leigo cogitaram seriamente a hipótese de que dois químicos haviam conseguido com um aparelho pequeno e de preço módico o que grandes *tokamaks* multimilionários como o TFTR de Princeton, o JET europeu e o JT-60 japonês ainda prometiam: a fusão nuclear controlada com balanço energético positivo. O governador do estado de Utah, provavelmente sem conhecer a história de Perón e Richter, convocou

181 A França mantém o único outro projeto significativo de fusão inercial, o *Laser Mégajoule*, ora em construção. Assim como no caso estadunidense, a iniciativa francesa é vinculada a aplicações militares. Há projetos semelhantes de menor expressividade na Rússia e na China. Existem, igualmente, projetos japoneses e europeus de finalidades exclusivamente civis, com o destaque para o HiPER (*High Power Laser Energy Research*), ainda sem cronograma de implementação.

182 As moléculas de água pesada têm o deutério no lugar do hidrogênio comum.

183 McCRACKEN, Garry; STOTT, Peter, *op. cit.*, p. 87-89.

184 A propósito, Langmuir foi o cientista que batizou em 1927 o quarto estado da matéria como “plasma”, um termo emprestado da medicina.

sua própria coletiva para anunciar a criação em Salt Lake City de um centro de pesquisa e desenvolvimento em “fusão a frio”. Até Edward Teller, então com 81 anos, transmitiu seus cumprimentos a Pons e Fleischmann pela “descoberta”. Em maio de 1989, as deficiências e os equívocos na pesquisa da dupla de Utah já haviam sido expostos, e a grande dúvida passou a ser se os químicos eram apenas incompetentes ou também desonestos. Não obstante, há quem defenda seu trabalho até os dias de hoje¹⁸⁵.

O caminho da energia de fusão é, portanto, repleto de trilhas dissimuladas ou sem saída. Caberá agora à Organização Internacional ITER indicar se a rota magnética é, de fato, a que levará ao controle do poder latente das estrelas para o bem-estar da humanidade, tal como preconizado por Arthur Eddington em 1920.

185 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 138-145.



Capítulo 2

O caminho: a Organização Internacional ITER

Projeto científico maiúsculo, o ITER [...] é a mão estendida às gerações futuras, em nome da solidariedade e da responsabilidade. [J. CHIRAC, presidente da França (1995-2007)]¹⁸⁶

Não estamos construindo apenas a máquina que abrirá o caminho para uma nova era na obtenção de energia sustentável. Estamos inventando uma forma de colaboração cultural que também servirá de modelo para outras iniciativas da humanidade. [O. MOTOJIMA, DG da OI-ITER (2010-2015)]¹⁸⁷

A Organização Internacional de Energia de Fusão ITER (OI-ITER) foi estabelecida por acordo assinado em 21 de novembro de 2006, em Paris, e em vigor desde 24 de outubro de 2007. Como vimos no capítulo anterior, suas origens remontam às cúpulas EUA-URSS de 1985 a 1988 e aos projetos conceitual e de engenharia do “Reator Termonuclear Experimental Internacional” (ITER), desenvolvidos de 1988 a 2001 sob os auspícios da Agência Internacional de Energia Atômica. A OI-ITER é integrada pelas sete Partes do acordo de 2006, em um total de 35 países-membros: seis Estados nacionais (China, EUA, Federação Russa, Índia, Japão e República da Coreia) e uma organização supranacional, a Euratom, formada pelos Estados-membros da União Europeia¹⁸⁸ e um Estado associado, a Suíça. Sua sede está localizada

¹⁸⁶ Discurso do presidente Jacques Chirac por ocasião da assinatura do acordo constitutivo da OI-ITER (Paris, 21 de novembro de 2006). Tradução do autor.

¹⁸⁷ “O Estado de S. Paulo”, 20 de janeiro de 2013.

¹⁸⁸ A União Europeia era integrada por 28 países em 2014. Quando o acordo constitutivo da OI-ITER foi assinado em 2006, Bulgária, Romênia e Croácia ainda não eram membros da UE. O artigo 21 do Acordo ITER faz

em Cadarache/Saint-Paul-lez-Durance¹⁸⁹, departamento de Bouches-du-Rhône, região francesa da Provença-Alpes-Côte d'Azur (a França constitui, assim, o Estado-anfitrião e a Euratom, a Parte-anfitriã). O propósito central da Organização é o de proporcionar e promover a implementação conjunta do Projeto ITER, que visa, por sua vez, a demonstrar a viabilidade científica e tecnológica da fusão nuclear para a geração sustentada de energia¹⁹⁰.

Nos termos do acordo constitutivo, a Organização ITER tem entre suas atribuições: i) a construção, o funcionamento, a exploração, a desativação e o futuro descomissionamento das instalações de Cadarache, de acordo com os objetivos traçados pelo projeto de engenharia de 2001 e com os documentos técnicos suplementares eventualmente adotados; ii) o incentivo à exploração do ITER pelos laboratórios, instituições, cientistas e engenheiros que participam dos programas de pesquisa e desenvolvimento em fusão das Partes; e iii) a promoção do entendimento e da aceitação pública da energia de fusão. Conta com personalidade jurídica internacional própria, incluindo a capacidade para concluir acordos com outros Estados e organizações internacionais, bem como goza de personalidade jurídica nos territórios dos Estados-membros para a celebração de contratos, a administração de bens, a obtenção de licenças e para pleitear em juízo¹⁹¹.

A Organização ITER encaixa-se, portanto, na lição de Vicente Marotta Rangel, que define as organizações internacionais como entidades “compostas exclusiva ou preponderantemente por Estados, capazes de manifestar de maneira permanente vontade distinta da de seus membros”, e “dotadas de esfera de competência própria”¹⁹². Do

referência específica aos dois primeiros países e à Suíça como “terceiro Estado plenamente associado”.

189 Cadarache é o nome do complexo nuclear francês que recebeu as instalações do ITER, conforme a decisão tomada em junho de 2005. Com a construção da sede própria em 2012, a Organização tem preferido utilizar como referência geográfica o município de Saint-Paul-lez-Durance.

190 ACORDO ITER, artigos 1º e 2º.

191 *Id.*, artigos 3º e 5º.

192 MAROTTA RANGEL, Vicente. *As organizações internacionais* (apostila), p. 2.

ponto de vista tipológico, ainda segundo Marotta Rangel, a OI-ITER é uma organização intergovernamental (suas Partes são governos nacionais ou supranacionais), interestatal (não prevê qualquer transferência de soberania), de finalidade específica (tem competência adstrita à energia de fusão), de vocação geográfica universal (não está restrita a uma região ou bloco de países), onerosa (exige contribuição de todos os membros) e de admissão restrita (embora não seja explícito a respeito de pré-requisitos, o acordo de 2006 pressupõe a existência de um programa nacional de energia de fusão)¹⁹³.

Tal como antecipado na introdução, a Organização ITER é comparável a outras organizações internacionais de caráter científico-tecnológico, como o CERN e o ESO, mas apresenta singularidades relevantes. Além da diversidade das Partes e de seus mecanismos de contribuição e de aquisições, pontos que são abordados mais à frente, a OI-ITER apresenta característica diretamente relacionada à sua missão de construir, operar e explorar uma máquina: a duração limitada. Em acréscimo à tipologia de Marotta Rangel, poderíamos dizer que se trata aqui de uma organização não permanente. O acordo constitutivo da OI-ITER tem uma duração preliminar de trinta e cinco anos (ou seja, expira em 24 de outubro de 2042). Com antecedência mínima de oito anos, comissão especial será criada para recomendar – ou não – a prorrogação do prazo de vigência, levando em consideração os progressos alcançados pelo projeto. Com base no relatório dessa comissão, o órgão deliberativo da Organização (o Conselho) tomará decisão final antes de 2036, mas não poderá estender a vigência para além de 2052. Nos últimos cinco anos de vigência do acordo, serão tomadas as decisões pertinentes para a desativação e o descomissionamento da máquina, bem como para a dissolução da Organização¹⁹⁴.

193 *Ibid.*, p. 8-13.

194 ACORDO ITER, artigo 24.

Cumpra observar que essa limitação temporal em nada afeta o *status* da OI-ITER como organização internacional, como comprova o extraordinário exemplo da Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA). Uma das pedras fundamentais do projeto europeu de integração, a CECA também se caracterizava pela limitação temporal. O artigo 97 de seu tratado constitutivo, assinado em Paris em 18 de abril de 1951, estabelecia duração máxima de cinquenta anos a partir da data de entrada em vigor (o que ocorreu em 23 de julho de 1952)¹⁹⁵.

Outro aspecto jurídico relevante do acordo da OI-ITER diz respeito à atribuição de privilégios e imunidades – essenciais à caracterização de uma organização internacional. A Organização, seus funcionários e seus bens e haveres gozam no território de cada Parte dos privilégios e imunidades necessários para o exercício de todas as funções e atribuições previstas no acordo de 2006¹⁹⁶. As imunidades poderão ser objeto de renúncia (*waiver*) somente nos casos em que se considere sua manutenção incompatível com o curso da Justiça, e desde que essa renúncia não prejudique os interesses da Organização, com base em manifestação expressa do órgão deliberativo. Naturalmente, esses privilégios e imunidades não isentam a OI-ITER e seus funcionários de cumprir as normas legais e administrativas da França e da União Europeia (os anfitriões) com relação à saúde pública e do trabalho, ao meio ambiente e, em particular, pela natureza do projeto, à segurança nuclear e à proteção radiológica¹⁹⁷. Acordo específico sobre privilégios e imunidades também garante a inviolabilidade dos edifícios, instalações, arquivos e documentos da Organização, bem como a isenção da aplicação de impostos diretos e de tarifas comerciais pelas autoridades da Partes (aspecto de crucial

195 TRATADO DE ESTABELECIMENTO DA COMUNIDADE EUROPEIA DO CARVÃO E DO AÇO. Disponível no portal EUR-lex: <eur-lex.europa.eu>. Os órgãos e objetivos da CECA foram progressivamente assumidos pela atual União Europeia. O tratado da CECA perdeu a vigência em 23 de julho de 2002.

196 GRAMMATICO-VIDAL, Laetitia. *The International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) International Organisation: Which Laws Apply to this International Nuclear Operator?* (artigo).

197 ACORDO ITER, artigos 12 e 14.

importância para a cadeia de fornecimento de componentes e sistemas exigida pelo reator). O diretor-geral e os demais altos funcionários da OI-ITER contam, ainda, com todos os privilégios, imunidades e facilidades imigratórias e aduaneiras tradicionalmente concedidos a agentes diplomáticos¹⁹⁸.

Apesar de estar sediada na França, a Organização tem o inglês como única língua oficial e de trabalho, decorrência natural do papel assumido por esse idioma no meio científico. A utilização do francês ocorre apenas no contexto da aproximação com as comunidades locais (por exemplo, na promoção de visitas públicas ou em programas educacionais) e nos casos indispensáveis para as obrigações decorrentes do acordo de sede. Segundo as estimativas mais recentes, apenas 15% dos funcionários da Organização têm o inglês como idioma nativo¹⁹⁹.

2.1. Estrutura da OI-ITER

A Organização Internacional de Energia de Fusão ITER possui dois órgãos principais: i) o Conselho (*Council*), de natureza deliberativa; e ii) a Direção-Geral e a Equipe (*Director-General and Staff*), de natureza executiva e administrativa.

A OI-ITER é estruturada de modo semelhante à Organização CERN, com uma única grande diferença: o papel preponderante dos Estados-membros por meio de suas Agências Domésticas (ADs), que, na prática, controlam as finanças e a política de *procurement* da OI-ITER. No entanto, as ADs não integram formalmente a estrutura da Organização e são abordadas no próximo capítulo.

198 “Acordo relativo aos Privilégios e Imunidades da Organização Internacional de Energia de Fusão ITER para a Realização Conjunta do Projeto ITER” (Paris, 21 de novembro de 2006).

199 “ITER Magazine”, fevereiro de 2014.

2.1.1. Conselho

O Conselho é o órgão deliberativo e a instância máxima da Organização ITER. É composto pelos representantes indicados diretamente pelas Partes (cada uma das delegações pode ser integrada por, no máximo, quatro representantes). Os trabalhos do Conselho são coordenados por um presidente e um vice-presidente, eleitos entre seus membros para mandatos de um ano, com limite de três reeleições consecutivas (isto é, o mandato total não pode exceder quatro anos)²⁰⁰. Até o momento, exerceram a presidência do Conselho o britânico Chris Llewellyn-Smith (2007-09), o russo Evgeny Velikhov (2010-11), o japonês Hideyuki Takatsu (2012-13) e o estadunidense Robert Lotti (2014-). O cargo possui natureza essencialmente protocolar, mas tem assumido maior relevância político-diplomática em tempos recentes, sobretudo como aproximador de posições e redutor de tensões entre os governos das Partes, a Direção-Geral e as sete Agências Domésticas.

Em princípio, as reuniões do Conselho ocorrem com periodicidade semestral, quase sempre em fins de junho e novembro, a menos que uma Parte ou o diretor-geral proponham a realização de sessão extraordinária (por enquanto, houve um único caso em julho de 2010, quando foram aprovadas as revisões do cronograma e do orçamento de construção). Tem sido praxe a realização intercalada das reuniões na sede e em algum Estado-membro: houve quatro no Japão, uma nos Estados Unidos e outra na China. A reunião de junho de 2014 deveria ter acontecido na Rússia, mas, em virtude da crise russo-ucraniana da Crimeia, foi transferida para a sede em Saint-Paul-lez-Durance²⁰¹. O Conselho pode convocar, ainda, sessões especiais em nível ministerial (desde a instalação da Organização, houve uma ministerial em setembro de 2013 e outra em fevereiro de 2014, esta última para reagir

200 ACORDO ITER, artigo 6º, parágrafos 1º ao 3º.

201 "Physics World", 20 de maio de 2014.

à crise aberta com as críticas do mecanismo de avaliação independente de gestão em 2013)²⁰².

O Conselho pode adotar decisões e formular recomendações sobre quaisquer questões, assuntos ou matérias relacionadas à implementação conjunta do Projeto ITER. Suas competências específicas abrangem: i) a nomeação, substituição e recondução do diretor-geral; ii) a adoção e eventual alteração das normas de gestão de recursos humanos e financeiros; iii) a decisão sobre a estrutura de gestão principal da Organização e de seu quadro de pessoal; iv) a nomeação dos altos funcionários da Organização e dos membros das comissões e diretorias vinculadas ao Conselho; v) a nomeação do consultor independente, responsável pelo mecanismo de avaliação periódica da gestão da Organização; vi) a definição do orçamento total para as várias fases do projeto, com suas margens de ajuste, e dos orçamentos anuais; vii) a aprovação de alterações quanto à divisão dos custos globais do projeto, bem como a aprovação de ajustes pontuais nos arranjos licitatórios atribuídos às Partes; viii) a aprovação das contas anuais e dos relatórios anuais da Organização; ix) a aprovação dos documentos técnicos suplementares ao projeto de engenharia de 2001; x) a criação de órgãos subsidiários do Conselho, conforme a necessidade; xi) a aprovação da conclusão de acordos ou convênios de cooperação internacional; xii) a decisão sobre a venda de bens imóveis e a realização de empréstimos; xiii) a adoção das regras de gestão da propriedade intelectual e de divulgação de informações; xiv) a decisão sobre temas relacionados à não proliferação nuclear; xv) a aprovação dos acordos e disposições que regem as relações de sede com a Euratom e a França; xvi) a decisão sobre o ingresso de novos membros; xvii) a recomendação para a adoção de emendas ao acordo de 2006; e xviii) a decisão sobre as renúncias pontuais de privilégios e imunidades²⁰³.

202 ACORDO ITER, artigo 6º, parágrafos 4º ao 6º.

203 *Id.*, artigo 6º, parágrafo 7º.

As decisões sobre a nomeação do diretor-geral e sobre as principais questões de natureza orçamentária ou administrativa (indicadas na lista taxativa do artigo 8º, parágrafo 8º, do acordo de 2006) devem ser tomadas por unanimidade. Nas demais questões, caso não seja possível alcançar consenso, o Conselho deve decidir por maioria simples com base em um sistema de voto ponderado, que reflete o peso aproximado das contribuições das diferentes Partes para a Organização ITER²⁰⁴. Nas decisões pelo sistema ponderado acordado, na fase de construção, a Euratom tem três votos e as demais Partes, um voto cada. Na fase de operação, a Euratom terá seis votos, Japão e EUA terão três votos cada, e os demais, dois votos cada.

O Conselho é apoiado por dois órgãos consultivos que se reúnem antes de cada reunião semestral: o Comitê Assessor de Ciência e Tecnologia (STAC) e o Comitê Assessor de Gestão (MAC). O primeiro tem a missão de assessorar o Conselho nas questões científico-tecnológicas que possam surgir durante a implementação do Projeto ITER, o que costuma incluir a elaboração de pareceres e recomendações técnicas. Já o segundo presta consultoria em temas de gestão estratégica, tais como dotações orçamentárias, política de recursos humanos, racionalização administrativa e aplicação dos privilégios e imunidades. Os membros das duas comissões são escolhidos pelo Conselho em função de notório saber técnico e experiência²⁰⁵.

Também estão vinculados diretamente ao Conselho dois outros órgãos: a Diretoria de Auditoria Financeira (FAB) e o Comitê do Programa de Testes dos Módulos da Camada Fértil (TBM-PC), que coordenará o uso do reator de Cadarache pelas Partes interessadas em testar soluções tecnológicas para um dos maiores desafios dos futuros reatores comerciais de fusão: a autossuficiência em trítio (a ideia é que esse isótopo de hidrogênio, levemente radioativo, seja gerado dentro

204 *Id.*, artigo 6º, parágrafos 9º e 10.

205 *Vide* Relatórios Anuais da Organização ITER (2007-2012).

do reator por uma camada fértil de lítio)²⁰⁶. Como os testes não serão feitos em conjunto, decidiu-se vincular o TBM-PC diretamente ao Conselho. Já a Diretoria de Auditoria Financeira é integrada por sete representantes, um de cada Parte. Essa unidade tem como missão: i) determinar se as receitas e as despesas foram feitas regularmente e se foram devidamente contabilizadas; ii) avaliar a qualidade da gestão financeira da Organização; iii) declarar a conformidade das prestações de contas anuais; e iv) verificar se há provisões orçamentárias para o empenho de gastos²⁰⁷.

2.1.2. Direção-Geral

O diretor-geral é a principal autoridade executiva da Organização ITER, bem como seu representante legal no plano internacional. Nomeado por decisão unânime do Conselho para um mandato de cinco anos, com a possibilidade de uma única recondução, o diretor-geral é responsável por: i) preparar e apresentar ao Conselho todas as minutas de normas e decisões de caráter administrativo, orçamentário e técnico da Organização; ii) dirigir e supervisionar as atividades da Equipe da Organização (*Staff*); iii) nomear os funcionários da Equipe; iv) pleitear as autorizações e licenças necessárias para a construção, funcionamento e exploração das instalações ITER; v) promover a colaboração entre os programas nacionais de fusão; vi) assegurar a qualidade e adequação dos componentes e sistemas adquiridos para a montagem e operação do reator de Cadarache; vii) negociar os acordos e convênios de cooperação internacional; viii) organizar as reuniões do Conselho; e ix) acompanhar e controlar a execução dos programas anuais no que diz respeito ao cronograma, aos resultados e à qualidade, bem como validar a conclusão das tarefas²⁰⁸.

206 "ITER Newslines", 30 de março de 2009.

207 ACORDO ITER, artigo 17.

208 *Id.*, artigo 7º, parágrafos 1º a 4º.

Tal como é comum em organizações internacionais, o acordo constitutivo assegura “caráter exclusivamente internacional” à atuação do diretor-geral e dos demais funcionários, que não podem solicitar nem receber instruções de qualquer governo ou autoridade externa à Organização. Tampouco as Partes devem buscar influenciá-los no exercício de suas funções²⁰⁹. No caso da OI-ITER, em razão da forma como os materiais, componentes e sistemas são adquiridos diretamente pelas Agências Domésticas, essa previsão ganha peculiar significado. Espera-se que o diretor-geral, os diretores de Departamento e seus subordinados sigam as especificações técnicas à risca, mesmo que isso implique prejuízos econômicos diretos a seus países de origem – uma tarefa que, como revela a experiência do ITER, não tem sido fácil.

A estrutura que presta assessoria imediata ao diretor-geral é pequena (cerca de vinte funcionários) e inclui um gabinete (ODG), ao qual estão vinculadas duas coordenações (planejamento estratégico e comunicações/relações externas), a consultoria jurídica, a unidade de controle interno, o escritório de cooperação internacional e a unidade de coordenação com as Agências Domésticas. Levando em conta que a relação com as ADs está entre os aspectos mais contenciosos da Organização, criou-se em 2012 uma espécie de conselho informal vinculado à Direção-Geral (apelidado de “Unique ITER Team”), que reúne, além do DG, os chefes das sete Agências Domésticas e o diretor do Projeto ITER²¹⁰.

A maior parte dos funcionários do gabinete do DG, entre oito e dez profissionais, trabalha com comunicação social, em cumprimento às missões previstas no artigo 3º do acordo de 2006 (aceitação pública da energia de fusão e manutenção de boas relações com as comunidades locais). A unidade de comunicação/relações externas (COM) é

209 ACORDO ITER, artigo 7º, parágrafo 6º.

210 ORGANIZAÇÃO ITER. *New ITER Organization Structure as of 1 February 2014*. Disponível em: <www.iter.org>.

responsável pela versão final dos relatórios anuais da Organização, pela edição da revista “ITER Mag” e da *newsletter* digital “ITER Newline”, pela manutenção do sítio *iter.org* e de outras iniciativas na internet, bem como pela execução dos programas de *press trips* e de visitação pública às instalações ITER em Saint-Paul-lez-Durance²¹¹.

Com base no acerto de 28 de junho de 2005, que permitiu a escolha da França como sede da Organização, os diretores-gerais deveriam ser de nacionalidade japonesa²¹². O primeiro DG foi o diplomata e engenheiro nuclear Kaname Ikeda, que deixou a Embaixada nipônica em Zagreb para assumir a Direção-Geral do Projeto ITER em novembro de 2005 e da OI-ITER a partir de sua instalação, em outubro de 2007. A gestão de Ikeda foi marcada por desentendimentos entre as Partes quanto ao cronograma e ao orçamento do reator, que tiveram de ser afinal revistos. Houve adiamentos de até dois anos no cronograma e aumentos expressivos no orçamento, que retornou ao patamar inicialmente previsto em 1998, na casa dos dez bilhões de dólares estadunidenses (valores apenas para a construção da máquina, e não para sua operação)²¹³. Embora pudesse permanecer até 2012, Ikeda – em parte por pressão do Conselho – preferiu contar o tempo de seu mandato a partir de 2005 e antecipar a saída para meados de 2010. Foi substituído por Osamu Motojima, físico nuclear e presidente do Instituto Nacional de Ciências da Fusão do Japão (NIFS) entre os anos de 2003 e 2009.

Os problemas enfrentados por Ikeda continuaram a afligir a gestão de Motojima, pois muitas das dificuldades do ITER são decorrências de sua arquitetura institucional, e pouco têm a ver com a personalidade dos diretores-gerais. A estrutura da Organização potencializa os atritos entre o DG e as Agências Domésticas, uma vez dá

211 *Ibid.*

212 A regra foi flexibilizada em 2015 com a indicação de um francês para o cargo. Além do diretor-geral, a OI-ITER conta com seis DGs Adjuntos (indicados pelas demais Partes).

213 Segundo seus colegas de ITER, o estilo pessoal de Ikeda seria “soporífero” e em nada teria contribuído para a superação dos problemas na fase inicial de instalação. *Vide* revista *Scientific American*, junho de 2012.

ao primeiro as responsabilidades de garantir a qualidade e adequação dos componentes e sistemas do reator, bem como de zelar pelo cumprimento dos cronogramas, mas não os instrumentos concretos (em especial, a administração dos recursos para a consecução dessas tarefas), que se encontram nas mãos das ADs. Conforme sintetizou um antigo consultor jurídico da Organização, salientando as limitações do cargo de diretor-geral, “at the end of the day, it is members’ willing participation, not the power of ITER’s director general, that will make the project come together”²¹⁴. Em março de 2015, Motojima deixou o cargo com alguns meses de antecedência e foi substituído pelo físico francês Bernard Bigot.

2.1.3. Equipe (Departamentos e Direções)

Nos termos do acordo de 2006, a Direção-Geral e a Equipe (*Staff*) formam uma única instância administrativa, conjunto que, em outras organizações internacionais, costuma receber o nome de Secretariado. Os funcionários da Equipe ITER são designados pelo diretor-geral com base em suas qualificações científicas, técnicas ou administrativas, levando em consideração, ainda, a adequada distribuição das funções entre as nacionalidades dos Estados-membros, em proporção às suas respectivas contribuições. Os funcionários podem ser empregados diretamente pela Organização ou cedidos pelos Estados-membros (nesse caso, a cessão é contabilizada como contribuição em espécie)²¹⁵.

Segundo os dados mais recentes da OI-ITER, a Equipe é integrada por 477 pessoas (312 europeus, 35 japoneses, 30 sul-coreanos, 30 indianos, 28 estadunidenses, 24 russos e 18 chineses). Esse número obviamente não inclui as mais de três mil pessoas envolvidas na construção das instalações do reator em Saint-Paul-lez-Durance – em sua maioria subcontratadas pela F4E (a Agência Doméstica

214 Revista *Scientific American*, junho de 2012.

215 ACORDO ITER, artigo 6º, parágrafos 8º a 11.

da Euratom) e pela Agência ITER France, órgão do governo francês responsável pelas relações de Estado-anfitrião – e muito menos os milhares de empregos diretos e indiretos criados com as contratações feitas diretamente pelas sete Agências Domésticas²¹⁶.

Além das unidades de assessoramento imediato do diretor-geral, que empregam cerca de 4% dos funcionários da Organização, a estrutura da Equipe ITER é integrada por três departamentos e oito direções, que correspondem *grosso modo* aos principais aspectos técnicos da construção e futura operação do reator.

O maior e mais importante departamento é o do Projeto ITER (DIP), que concentra cerca de 75% dos funcionários da Organização. O DIP reúne seis direções técnicas: i) Operação de Plasma (responsável pela preparação dos cenários de física de plasmas); ii) *Tokamak* (câmara de vácuo, bobinas supercondutoras e componentes internos do reator); iii) Engenharia Central (engenharia elétrica, sistemas criogênicos, engenharia do ciclo do combustível deutério-trítio etc.); iv) Sistemas de Controle, Aquecimento e Diagnósticos (computação de alto desempenho, aquecedores externos e instrumentação); v) Construção e Infraestrutura (engenharia civil e engenharia nuclear convencional); e vi) Controle do Projeto e Montagem (*computer aided design* e integração técnica dos componentes). Seu atual diretor é uma indicação da Euratom²¹⁷.

O segundo Departamento em número de funcionários é o da Administração (ADM), com cerca de 14% do total, formado por duas direções (Gestão e Finanças, Orçamento e Controle). Responde pelo gerenciamento de recursos humanos e financeiros, da documentação, da propriedade intelectual e da tecnologia da informação e de comunicações. É o órgão que opera a contabilidade das contribuições *in kind* e *in cash* da Organização, incluindo a conversão de todos os

216 ORGANIZAÇÃO ITER. Relatório Anual para 2012.

217 *Id.*, “New ITER Organization Structure as of 1 February 2014”.

valores em IUAs (a unidade de conta ITER). Seu atual diretor é uma indicação da China²¹⁸.

Completa a estrutura da Equipe ITER o Departamento de Qualidade e Segurança (SQS), com 7% dos funcionários. Cabe ao SQS assegurar o cumprimento das normas europeias e francesas de segurança nuclear e proteção radiológica (a propósito, o ITER é a primeira instalação de fusão nuclear a ser licenciada no mundo). O atual diretor do SQS é também uma indicação da Euratom²¹⁹.

É importante sublinhar que os principais funcionários da Organização são indicados diretamente pelas Partes, com pouca ou nenhuma influência do diretor-geral. O único cargo de livre provisão pelo DG é o de seu chefe de gabinete.

2.2. Mecanismos de financiamento e de compras

Segundo o acordo constitutivo de 2006, os recursos da Organização ITER incluem: i) as contribuições em espécie das Partes (*in kind*), que podem englobar componentes, equipamentos, materiais ou outros bens e serviços de acordo com as especificações técnicas previamente acordadas, bem como funcionários cedidos à Equipe; ii) as contribuições financeiras das Partes (*in cash*) para o orçamento da Organização ITER; iii) os recursos adicionais recebidos *in cash* ou *in kind* dentro dos limites e das condições aprovadas pelo Conselho. Todas as contribuições são fornecidas pelas Partes por intermédio de suas respectivas Agências Domésticas ou de outras entidades nacionais (destas últimas, desde que expressamente autorizadas pelo Conselho)²²⁰.

É importante sublinhar que o orçamento administrado de forma direta pela OI-ITER limita-se basicamente às contribuições financeiras

218 *Ibid.*

219 *Ibid.*

220 ACORDO ITER, artigo 8º, parágrafos 1º e 4º.

das Partes, que, como veremos abaixo, representam menos de um terço do total global na presente fase de construção (um quadro que vai se alterar somente na fase de operação a partir de 2020). Os dois terços restantes são administrados pelas Agências Domésticas com base nos arranjos licitatórios que lhe foram alocados pela Organização, sendo expressos originalmente em IUAs (embora os pagamentos sejam efetuados nas respectivas moedas nacionais)²²¹.

O valor das contribuições de cada Parte foi fixado nos documentos “Estimativas dos Valores para as Fases de Construção, Funcionamento, Desativação e Desclassificação do ITER e Forma das Contribuições das Partes” e “Partilha dos Custos para as Fases do Projeto ITER”, cujas primeiras versões, elaboradas em 2001, foram revistas em julho de 2010, com os necessários adiamentos no cronograma e os aumentos nos custos. Na primeira fase (de construção do reator e suas instalações), que deve ir de 2007 a 2020²²², os custos totais são estipulados em 4,7 milhões de IUAs, sendo ao menos 3,1 milhões em contribuições *in kind*²²³. A partilha dos custos de construção segue o esquema mencionado de 5/11 para a Euratom e 1/11 para cada uma das demais Partes. Na segunda fase (de operação do reator), entre 2020 e 2037²²⁴, os custos são estimados em 188 mil IUAs ao ano²²⁵ (cobertos majoritariamente por contribuições *in cash*). Serão repartidos da seguinte forma: 34% para a Euratom, 13%

221 Para uniformizar a contabilidade da Organização, as contribuições *in cash* são convertidas em IUAs com base em taxa definida a cada ano pelo Departamento de Administração. Em 2014, cada unidade de conta ITER valia aproximadamente 1.550 euros. O discurso oficial da OI-ITER é de que as contribuições *in kind* chegarão a 90% do total. No entanto, com base em estimativa feita diretamente com os valores dos *procurement arrangements*, não se levará em consideração esse percentual, mas sim o valor mais provável de dois terços do custo de construção em aportes *in kind*.

222 Em 2001, o ano previsto para a conclusão do reator era 2015.

223 O custo estimado em 2001 era de 3,6 milhões de IUAs. Essas unidades de conta não permitem conversões precisas para outras moedas, mas, tendo em mente a taxa contábil usada pela própria OI-ITER, é possível indicar que essa estimativa de custos de construção subiu do equivalente a cinco bilhões de euros em 2001 para sete bilhões de euros em 2010. O custo final deverá ser ainda maior, certamente ultrapassando o equivalente a treze bilhões de euros.

224 Cenário sem a prorrogação de dez anos admitida pelo acordo constitutivo. A fase de operação poderá ser estendida até 2047.

225 Valor equivalente a trezentos milhões de euros.

para os Estados Unidos, 13% para o Japão e 10% para cada uma das demais Partes. Na terceira fase (de desativação), de 2037 a 2042, o custo total estimado é de 281 milhões de euros, e na quarta fase (de descomissionamento), a partir de 2042, é de 530 milhões de euros. A partilha dos custos das fases de desativação e descomissionamento segue as mesmas quotas previstas para a fase de operação²²⁶.

Tendo por referência os dados de empenho para o ano-base de 2012, excluídas as contribuições em espécie via Agências Domésticas, o orçamento anual da Organização ITER é de 234 milhões de euros, incluindo 121,6 milhões de custeio (72,3 milhões com pessoal e 49,3 milhões com serviços gerais e manutenção), 8,7 milhões de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e 103,6 milhões de investimentos diretos (em geral, em infraestrutura). A contribuição global dos membros até 31 de dezembro de 2012, incluindo aportes *in kind* e *in cash*, foi de 973,5 milhões de euros (14% do total estimado para a fase de construção), divididos de forma bastante próxima à prevista na partilha de custos (exceção feita ao Japão, que está bem acima de sua quota)²²⁷:

Euratom	EUR 430,7 milhões	44,25%
Japão	EUR 143,5 milhões	14,75%
Estados Unidos	EUR 84,1 milhões	8,66%
República da Coreia	EUR 80,7 milhões	8,30%
Índia	EUR 80,0 milhões	8,22%
China	EUR 77,4 milhões	7,95%
Federação Russa	EUR 76,6 milhões	7,88%

A OI-ITER tem, ainda, a obrigação de gerir fundo especial para o futuro descomissionamento das instalações do reator, que deverá

226 ORGANIZAÇÃO ITER. *Value Estimates for ITER Phases of Construction, Operation, Deactivation and Decommissioning and Form of Party Contributions e Cost Sharing for all Phases of the ITER Project.*

227 *Id.*, "2012 Financial Statements".

cobrir a maior parte dos custos estimados para a quarta e última fase. Esse fundo deverá ser transferido ao Estado anfitrião, a França, em 2042 (ou 2052, na hipótese de prorrogação), ano em que a Organização já estará dissolvida ou em processo de dissolução. Por outro lado, o governo francês assume o compromisso de arcar com custos adicionais gerados pela eventual alteração onerosa das presentes normas de descomissionamento de instalações nucleares²²⁸.

O elemento central do financiamento do ITER na fase de construção é, sem dúvida, o arranjo licitatório (*procurement arrangement*, ou PA), que evidencia o caráter *sui generis* da Organização²²⁹. Conforme definido pela OI-ITER e pelas Partes no documento “Entendimentos sobre Alocação de Aquisições”, todos os componentes, materiais e sistemas necessários para o reator foram ou serão divididos em cerca de cento e quarenta “pacotes”, que determinam os prazos de entrega, as especificações técnicas e um valor máximo em IUAs, em sintonia com seu custo nominal estimado e seu conteúdo tecnológico. Cada “pacote” é então atribuído a uma ou mais Agências Domésticas (há casos de alocação simultânea às sete Partes), em proporções variáveis. Um mesmo componente, por sua vez, pode ser dividido em mais de um arranjo. De acordo com as regras nacionais de compras públicas, cada AD providencia a licitação e a contratação da parcela que lhe foi alocada, com total independência²³⁰. Na maior parte dos casos, a Equipe ITER apenas receberá os produtos encomendados pelos PAs, fará os testes necessários para assegurar sua conformidade com as especificações técnicas e os integrará em seu lugar no reator em Cadarache²³¹.

228 ACORDO ITER, Artigo 16°.

229 A preponderância das contribuições em espécie, no patamar de dois terços, é também uma singularidade, mas aportes *in kind* são comuns em organizações internacionais.

230 A modalidade de licitação empregada, que pode até prescindir de competição, não é considerada pela OI-ITER, cuja preocupação concentra-se na qualidade e conformidade dos componentes, materiais ou sistemas encomendados.

231 SWENSON, Peter, *op. cit.* Em alguns casos, fundo conjunto administrado pela OI-ITER pode ser utilizado para a contratação direta de bens ou serviços – ou indireta, por meio de *task agreements* firmados com as ADs.

Para ilustrar o processo dos arranjos licitatórios, tomemos como exemplo a necessidade de cerca de 250 toneladas de fios supercondutores de nióbio-titânio para os eletroímãs do campo poloidal do ITER. Esse “pacote” foi avaliado em 74 mil IUAs e atribuído à China (fatia de 69%), à Rússia (18%) e à Euratom (13%). As Agências Domésticas dessas Partes tomaram as providências internas necessárias para a aquisição dos produtos, que, independente de seu valor nominal em yuans, rublos ou euros, foi contabilizado em IUAs como contribuições *in kind*²³². É possível que a quota de 13% dos europeus, em função dos custos de produção na UE, tenha saído mais cara que a quota de 18% dos russos. Para a tabela de contribuições da Organização, no entanto, valem as quantias em IUAs. Essa unidade de conta, aliás, foi concebida tanto para medir o valor das contribuições em espécie de forma consistente ao longo do tempo, neutralizando as flutuações cambiais, quanto para evitar que os países de menor desenvolvimento arcassem com os custos mais altos de produção na Europa, no Japão ou nos Estados Unidos.

Outra prática comum nos arranjos licitatórios da OI-ITER é a utilização dos produtos encomendados em um “pacote” como insumos para PAs alocados a outras Agências Domésticas. No caso das mais de 450 toneladas de fios supercondutores de nióbio-estanho para as bobinas de campo toroidal, a divisão inicial foi feita entre Japão (25%), Euratom (20%), Rússia (20%), República da Coreia (20%), EUA (8%) e China (7%). Uma vez finalizados, esses fios serão entregues não à Organização, mas às ADs europeia e japonesa, que receberam os arranjos para sua transformação em cabos de bobina (*windings*). O objetivo aqui é o de forçar a colaboração entre as Partes e suas indústrias nacionais, estimulando a formação de parcerias e *joint ventures* para a cadeia produtiva do ITER e dos futuros reatores de fusão²³³.

232 ORGANIZAÇÃO ITER. *Common Understandings on Procurement Allocation*.

233 “ITER Newslines”, 28 de agosto de 2009.

Em tese, nada impede que as Agências Domésticas adquiram componentes de provedores de outros países, inclusive de fora da OI-ITER, mas isso é improvável²³⁴, uma vez que a lógica dos *procurement arrangements* é precisamente a de contribuir para o progresso tecnológico das respectivas indústrias nacionais, de ampliar seus conhecimentos e sua experiência no campo da energia de fusão nuclear, bem como de assegurar uma distribuição equânime dos benefícios econômicos da construção do reator – contribuições que, obviamente, garantem a necessária vontade política nos Executivos e Legislativos.

É fato que o mecanismo *in kind* dos PAs torna mais complexa a gestão do projeto, mas a OI-ITER é um projeto de fulcro político com o objetivo de demonstrar a viabilidade científica e tecnológica da fusão nuclear controlada. Ambiciona servir como programa mobilizador de desenvolvimento, e não como referência (*benchmarking*) para a construção de um *tokamak* experimental com menores custos e no menor prazo possível. Fosse este último o seu único objetivo, os procedimentos seriam certamente diferentes – por exemplo, com a centralização do mecanismo de compras. É lícito perguntar, porém, se essa hipotética unidade central, situada no Sul da França, teria condições de lidar com complexas contratações de fornecedores em Ahmedabad, Boston, Chengdu, Daejeon, Kobe, Milão, Munique, Oxford e Podolsk – responsabilidade que hoje cabe diretamente às Partes.

Pelo ângulo técnico, no entanto, é inegável que a pulverização dos fornecedores pode gerar atrasos e problemas de integração de componentes e sistemas, o que, na avaliação de alguns críticos, tende a solapar o apoio político nos Estados-membros (com consequências sobre o orçamento nacional das ADs) e a própria imagem do ITER junto à opinião pública internacional. Embora defensor da iniciativa,

234 A exceção é de natureza política. Com base no compromisso nipo-europeu de junho de 2005, que garantiu a sede do ITER em Cadarache, a EURATOM cedeu 1/11 de sua quota *in kind* para aquisições no Japão. Com isso, os PAs feitos na Europa correspondem a 4/11 do total e os no Japão, a 2/11.

sobretudo em sua dimensão industrial, o físico português Carlos Varandas, presidente do conselho científico do acordo europeu EFDA, afirma a respeito que:

The procurement in-kind have created several additional difficulties to the project: (i) the main tokamak components will be provided by several Members leading to increases on cost and integration risks; (ii) ITER-IO has very little control on the call for tenders; (iii) there will be most probably conflicts between who has the responsibility of the project (ITER-IO) and who pays (DAs); (iv) quality assurance, already important due to the nuclear character of this project, is still more important aiming at reducing the integration risks; (v) delays in one DA will have impact on the work of other DAs; and (vi) *the exact total cost of the project will most probably never be known since each DA will not publicise the cost of its contribution to ITER. A better choice for future ITER-like projects would probably be a mix scheme where the core of the machine is procured in cash and the auxiliary systems are provided in kind (grifos nossos)*²³⁵.

A melhor demonstração de que o projeto não segue a clássica racionalidade econômico-financeira e administrativa está, como assinala corretamente Varandas, na impossibilidade de se saber com exatidão o seu custo total. Por outro lado, conforme pondera o embaixador Laércio Vinhas, cumpre ressaltar que o ITER não é um reator de geração nucleoeleétrica, mas sim “um importante instrumento de pesquisa, [e uma contribuição] para o desenvolvimento de materiais e equipamentos que poderão ser úteis em outras tecnologias avançadas”²³⁶. O reator de Cadarache representa, provavelmente, o maior projeto internacional de arraste tecnológico já implementado. Tal como observa o engenheiro Leonam dos Santos Guimarães:

235 VARANDAS, Carlos, *op. cit.*

236 Entrevista ao autor, 6 de maio de 2014.

[os projetos de arraste tecnológico] não podem ser analisados dentro da estrita racionalidade econômico-financeira, pois uma *significativa parte de seus resultados são contabilmente intangíveis*. Uma rápida revisão dos acontecimentos deste século pode-nos mostrar de maneira clara que os verdadeiros saltos científicos e tecnológicos alcançados neste período não foram, e nem poderiam ser, motivados pela (ir)racionalidade dos mercados. [...] *A dinâmica de execução dos programas de arraste apresenta também as características peculiares de multidisciplinaridade, acarretando o envolvimento de diversas instituições, cada uma com sua cultura, idiosincrasias e modos de operação específicos*. Um projeto de arraste envolve então, simultaneamente e em diversas áreas, atividades de pesquisa básica, apoiadas por universidades, atividades de pesquisa aplicada, apoiada por institutos especializados, atividades de desenvolvimento de materiais, componentes e instalações-protótipo, apoiadas por centros tecnológicos, e atividades de produção, apoiadas por indústrias (grifos nossos)²³⁷.

Guimarães escreve sobre o efeito de arraste do programa de propulsão nuclear da Marinha do Brasil, uma iniciativa de caráter nacional, mas muitas de suas observações são pertinentes ao caso de uma iniciativa internacional como o ITER. É claro que projetos desse gênero, mesmo sem seguir a lógica estritamente econômico-financeira, necessitam de adequada estratégia gerencial para garantir que os recursos sejam empregados de forma racional e levem à consecução das metas estabelecidas. A questão é que, como bem sintetiza Guimarães, esses programas dificilmente podem ser “conduzidos de forma convencional e burocrática” e “exigem criatividade, inovação, audácia, profissionalismo e, principalmente, uma inabalável fé na importância de seus objetivos e na essencialidade de suas metas, em uma escala sem paralelo”²³⁸.

237 GUIMARÃES, Leonam dos Santos. *Estratégias de implementação e efeitos de arraste dos grandes programas de desenvolvimento tecnológico nacionais: experiências do Programa Nuclear da Marinha do Brasil* (artigo).

238 *Ibid.*

Se superar as dificuldades e cumprir todas as principais metas, a OI-ITER e seus nada convencionais mecanismos de financiamento e de compras poderão servir de inspiração para futuros empreendimentos internacionais de “grande ciência” e arraste tecnológico – a “nova forma de colaboração cultural que também servirá de modelo para outras iniciativas da humanidade” mencionada por Osamu Motojima na epígrafe deste capítulo. Caso isso não aconteça, a experiência de Cadarache talvez sirva de modelo de como não fazê-los. Ainda assim, os cerca de 140 *procurement arrangements* do ITER terão assegurado, até 2020, quase sete bilhões de euros em contratos para as indústrias das sete Partes – e ganhos intangíveis em sua capacitação tecnológica.

2.3. Mecanismo de avaliação da gestão

Os riscos inerentes a uma iniciativa tão inovadora como a da Organização ITER eram de pleno conhecimento das Partes, a tal ponto que decidiram inserir no acordo constitutivo um mecanismo especial de avaliação de gestão, a ser efetuado a cada dois anos com a ajuda de um consultor independente, especialmente nomeado e contratado, por decisão do Conselho, entre cientistas e/ou executivos com experiência em grandes projetos científico-tecnológicos. Segundo dispõe o artigo 18 do acordo de 2006, o objetivo dessa avaliação é verificar se o desempenho da OI-ITER tem sido satisfatório, em especial no que diz respeito à eficácia e à eficiência de sua gestão, em termos da escala de seus recursos financeiros e humanos²³⁹.

As avaliações independentes de 2009 e 2011 foram bastante críticas e propositivas (levaram, por exemplo, à criação do *Unique ITER Team*, que reúne o diretor-geral e os líderes das sete ADs), mas não nas proporções da avaliação de 2013, que coube ao físico e

239 Pela natureza do projeto, a OI-ITER talvez seja a única organização internacional a promover avaliação periódica independente da gestão do conjunto de suas atividades, e não de apenas uma área ou unidade específica.

químico estadunidense William J. Madia – um especialista em ciclo do combustível nuclear e ex-diretor do laboratório de Oak Ridge, onde coordenou o projeto da Fonte de Espalação de Nêutrons (a SNS, um acelerador de partículas com uso potencial em testes para materiais de fusão nuclear)²⁴⁰. Auxiliado pelo químico Charles Shank e pelo matemático e ex-Vice-ministro de Energia dos EUA T.J. Glauthier, Madia concluiu o relatório em tempo de apresentá-lo ao Conselho da OI-ITER em fins de 2013. A contundência das conclusões e recomendações justificou a convocação de reunião ministerial em 13 de fevereiro de 2014 para discutir a *malaise*, que, segundo os cientistas estadunidenses, ameaçava a sobrevivência do projeto. A preocupação e o mal-estar gerados levaram os representantes das Partes a restringir sua leitura aos funcionários mais graduados da Organização, o que não impediu seu vazamento à revista *The New Yorker* pouco depois²⁴¹.

O *Final Report of the 2013 ITER Management Assessment* oferece interessantíssima e abrangente perspectiva sobre o funcionamento da OI-ITER, mas a expôs pelo ângulo quase exclusivo de seus defeitos e disfunções. Por outro lado, não deixa de surpreender que relatório dessa qualidade inclua obviedades (tais como a observação preliminar de que “as the Assessment advanced, it became clear that the ITER project was extremely complex and a great challenge to effectively manage”) e indicações exageradas de desesperança (o sumário executivo diz logo no início que inexistem “simple or easy solutions that could immediately improve progress”)²⁴². Não obstante as falhas e os preconceitos demonstrados por Madia, que por vezes parece

240 A SNS é considerada um modelo de gestão de “Big Science” nos EUA, pois foi concluída antes do prazo e dentro do orçamento previsto de 1,5 bilhão de dólares estadunidenses. Por ser uma fonte de nêutrons, a SNS é vista como alternativa à ideia do centro de teste de materiais de fusão, a IFMIF, a ser construída por europeus e japoneses no marco do *Broader Approach*.

241 Revista “Science”, 28 de fevereiro de 2014. A revista “The New Yorker” publicou reportagem especial sobre o ITER em 3 de março de 2014.

242 MADIA & ASSOCIATES LLC. *Final Report of the 2013 ITER Management Assessment* (Contract ITER/CT/13/4300000830), 18 de outubro de 2013.

ignorar a natureza internacional do projeto, a descrição e a análise de seu relatório são de evidente conveniência para os objetivos deste livro, no esforço de melhor compreender a dinâmica e os desafios de uma organização internacional com as características singulares da OI-ITER.

A avaliação de William Madia reconhece ao menos cinco pontos positivos no funcionamento da Organização: i) a existência de forte sentido de missão entre todos os envolvidos no projeto (a “inabalável fé” mencionada acima por Leonam dos Santos Guimarães); ii) a qualidade, a experiência e a motivação dos membros da Equipe, tanto nos domínios técnicos, quanto nos administrativos; iii) o emprego de *best practices* em áreas como a Direção de Engenharia Central, que segue o *benchmarking* para grandes projetos de construção industrial; iv) a existência de vários casos de interação positiva e de espírito de colaboração entre as Agências Domésticas (Madia chega a afirmar que “the seven Members and their respective DAs exhibited more passion and enthusiasm for the ITER program than was visible in the IO senior leadership”, frase que deixou o japonês Motojima particularmente irritado²⁴³); e v) os bons resultados do *Unique ITER Team*, que melhorou sensivelmente a coordenação entre a OI-ITER e as ADs²⁴⁴.

Passando à agenda negativa, o relatório informa que, em todas as entrevistas feitas com os funcionários da Organização, foi possível identificar “some or extensive expressions of concern about ITER progress, organization and management”. Madia e seus associados buscam sintetizar essas preocupações ouvidas e seus próprios diagnósticos sobre os “graves desafios” da OI-ITER em treze pontos principais:

- a. o “vício de origem” do projeto e sua complexa arquitetura, que, na opinião do estadunidense, “have created a situation

243 Revista “Science”, 28 de fevereiro de 2014.

244 MADIA & ASSOCIATES LLC, *op. cit.*, p. 3-4.

- that makes it very difficult or impossible to achieve progress at an optimal pace” (Madia não entra em maiores detalhes, pois sabe que esse suposto “vício de origem” é um aspecto incontornável);
- b. a inexistência de uma real “cultura de gerenciamento de projetos” dentro da OI-ITER, em parte por uma ênfase acadêmica (“which has often led to protracted debates and impeded rapid progress”), em parte por uma abordagem que Madia não disfarça considerar “nipônica” ou “diplomática” (“too much focus on achieving organizational ‘harmony’ instead of tangible project management results”, pouco “senso de urgência” e falta de “confrontação construtiva” entre chefes e subordinados, resultado de uma estrutura hierarquizada em excesso);
 - c. apesar da alta qualificação genérica dos funcionários, a falta de “massa crítica” de pessoal com experiência direta na gestão de grandes projetos industriais, problema agravado pela necessidade de compor equipes que assegurem a proporção entre as nacionalidades e a escala das contribuições dos Estados-membros;
 - d. um processo decisório opaco, lento e mal implementado, com a conseqüente dificuldade do encaminhamento de problemas concretos por “fact-based arguments”;
 - e. a inadequação da equipe de integração de componentes e sistemas, em termos de qualificação e de liderança, ao patamar mínimo necessário para uma das funções mais “vitais” e “críticas” do projeto;
 - f. a incapacidade da OI-ITER em atuar como uma organização gerencial eficaz e eficiente, reflexo tanto do escasso poder de influência sobre as Agências Domésticas, quanto do excesso de burocracia em seus procedimentos;

- g. a desatenção à segurança nuclear, algo supostamente menos relevante no atual estágio da construção do reator, mas de enorme significado na etapa de operação do reator (vale comentar que, embora não utilize urânio ou plutônio, o ITER terá de lidar com o trítio e com os materiais ativados pela irradiação de nêutrons);
- h. a falta de realismo nos cronogramas do projeto, outra consequência da alegada ausência de “cultura de confrontação”, que impediria aos escalões inferiores o cumprimento de seu papel de alerta contra prazos definidos de forma arbitrária;
- i. as inúmeras “zonas cinzentas” de responsabilidade entre a OI-ITER e as ADs, que acarretam impasses de solução demorada e desgastante, muitas vezes sobre questões de escassa relevância para as reais prioridades do projeto;
- j. a falta de “empatia” entre a Equipe ITER e as ADs, prevalecendo a tendência de uma parte responsabilizar a outra por problemas que, em geral, acabam ficando sem solução satisfatória;
- k. não obstante as contribuições do *Unique ITER Team* para uma melhor coordenação entre o diretor-geral e os chefes das ADs, a comunicação segue prejudicada nos níveis intermediários (para agravar o quadro, Madia acrescenta que esse problema de comunicação aflige até mesmo o trabalho entre os departamentos e direções em Cadarache);
- l. a existência de uma estrutura excessivamente verticalizada e compartimentada (no que se costuma chamar em administração de empresas de *stove-piped approach*), com um excesso de gerentes sênior para poucos subordinados; e

- m. o uso inadequado de ferramentas gerenciais, sobretudo na avaliação de desempenho das unidades e de seus responsáveis²⁴⁵.

Com base no diagnóstico acima apresentado, o relatório de gestão recomenda aos Estados-membros e ao Conselho a implementação urgente de onze “ações estratégicas e interdependentes”, que serão abaixo analisadas em seis grupos temáticos (cultura corporativa, estrutura e recursos humanos, papel central do DG, coordenação OI-ADs, segurança nuclear e avaliação da gestão²⁴⁶. Em nova crítica indireta, William Madia afirma ter suprimido centenas de outras “recomendações táticas”, de modo a facilitar o foco na execução realista e célere do conjunto de suas recomendações – o que, na opinião do executivo estadunidense, constitui sua última chance para uma “dramatic performance improvement”.

A primeira recomendação diz respeito à criação na Organização de uma “cultura de projeto”, menos burocrática, mais dinâmica e aberta à “confrontação construtiva”. Na prática, isso se traduziria na adoção das seguintes medidas: i) identificar e recrutar novas lideranças com experiência em grandes projetos e dotadas de “sensitivity to the international nature of ITER”; ii) instruir o comando da Organização a apoiar “an atmosphere of open, constructive engagement and a bias for action in senior management meetings”; iii) contratar consultores externos para avaliar e estabelecer métricas para medir a evolução da incorporação da “cultura de projeto”; iv) responsabilizar as lideranças por essa evolução. Mais à frente, propõe a simplificação dos procedimentos burocráticos na OI-ITER, que deveria encampar como meta a sua transformação em “the most efficient large project organization in the world”, e a adoção de cronogramas realistas, que

245 *Ibid.*, p. 3-6.

246 *Ibid.*, p. 6-15.

recuperem a credibilidade perdida com as repetidas perdas de prazo desde a instalação da Organização.

Madia também recomenda o *downsizing* de cargos comissionados na OI-ITER (“there is a natural tendency for big international programs to take on large numbers of staff, including political appointees, and to become bureaucratic”). As ações sugeridas incluem: i) a reestruturação da Equipe, com a eliminação de unidades e a adequação do organograma à iminente etapa prioritária da montagem; ii) o maior empoderamento dos escalões técnicos; iii) a simplificação do trâmite de documentos, com a diminuição das instâncias de autorização; iv) a nomeação de cargos comissionados exclusivamente em função da qualificação e da experiência profissional. A única recomendação específica sobre o organograma refere-se ao fortalecimento da Direção de Controle do Projeto e Montagem, que deveria estar à altura dos desafios de uma cadeia produtiva global. Enfatiza-se, ainda, a relevância da boa gestão de recursos humanos (“ITER should aspire to be the ‘employer of choice’ for large-scale projects, using modern tools to attract, motivate and retain the world’s top talent”) e faz-se a sugestão de um programa “agressivo” de recrutamento de pessoal qualificado e experiente.

A avaliação de gestão de 2013 recomenda acelerar o processo da transição para o novo diretor-geral. O mandato de Osamu Motojima terminaria em 2015 e, mesmo antes da divulgação do relatório, poucos acreditavam em renovação. O relatório Madia reconhece que a tarefa do DG é muito complexa e difícil em virtude dos “vícios de origem” e da multiplicidade de *stakeholders*, mas diz taxativamente que “the current leadership is not meeting the challenge and it is imperative that ITER move with dispatch to address this problem”. O Conselho é alertado, em particular, para os riscos criados pela entrada do ITER na crucial etapa de montagem do *tokamak*, com a finalização das obras de engenharia e de infraestrutura básica e o início da chegada à França dos primeiros componentes e sistemas (um sinal, aliás, de que os

arranjos licitatórios têm funcionado a contento). Para Madia e seus colaboradores, o sucessor de Motojima teria de ser, ao mesmo tempo, um líder inspirador, um comunicador nato, um gestor com experiência no setor industrial e um hábil negociador. O documento sugere que o processo de *headhunting* comece de imediato, mas silencia a respeito do compromisso fechado em 2005, que previa um nacional japonês no comando da Organização²⁴⁷.

Com relação às relações entre a OI-ITER e as Agências Domésticas, Madia sugere responsabilizar diretamente o diretor-geral pela solução dos impasses (“conflict is unavoidable; what is avoidable is to let these conflicts paralyse the project”). Em concreto, o novo DG teria de usar seus “dons de liderança” e, caso esses não se revelem suficientes, valer-se de um “mecanismo de solução de conflitos” ainda a ser definido (e que, obviamente, nada tem a ver com as regras de solução de controvérsias previstas no acordo de 2006). Outra recomendação é a de alinhar as ações e aumentar a compreensão mútua por meio de *integrated project teams* e do intercâmbio de funcionários, que alternariam períodos a serviço da OI-ITER e das respectivas ADs.

Por sua experiência com a energia nuclear de fissão (como diretor da USEC, a empresa estadunidense de enriquecimento de urânio), William Madia valoriza o aspecto da segurança (*safety*) nuclear. Em sua avaliação, a comunidade internacional da energia de fusão ainda estaria muito vinculada às universidades e aos laboratórios de pesquisa, e precisaria se familiarizar com o “ambiente rigoroso e desafiador” de uma instalação nuclear licenciada e regulada. Em sintomática negação da estratégia da OI-ITER de diferenciar a fusão da fissão nuclear, Madia preconiza para o projeto uma cultura de segurança que abra o caminho para futuros projetos de energia de fusão capazes de influenciar a opinião pública em prol das tecnologias nucleares.

247 Em 20 de novembro de 2014, veio a público a informação de que o novo diretor-geral da OI-ITER seria o físico francês Bernard Bigot, que vinha comandando desde 2009 a Comissão de Energia Atômica (CEA) da França. Bigot assumiu o cargo em março de 2015.

A última recomendação refere-se ao próprio mecanismo de avaliação independente de gestão. O documento faz críticas diretas à atuação do Conselho, que tenderia a ignorar boa parte das recomendações das anteriores avaliações de gestão e de seus próprios comitês assessores, bem como demonstraria dificuldade em encaminhar assuntos controversos ou tomar decisões mais difíceis. Sem elaborar sobre a questão, Madia apenas sugere que o Conselho assuma papel mais proativo, próximo ao dos conselhos de administração das empresas privadas, em especial no acompanhamento da implementação das onze ações estratégicas listadas no *2013 ITER Management Assessment*.

O relatório dos consultores estadunidenses apresenta dois grandes problemas. Em primeiro lugar, parte da premissa equivocada de que o ITER seria uma empresa privada ou um centro tecnológico nacional, e não uma organização internacional que tem de lidar com engenheiros, cientistas, diplomatas e gestores de culturas muito diversas, em alguns aspectos até antagônicas. Em segundo lugar, várias de suas recomendações simplesmente ignoram os dispositivos do acordo de 2006 e constituem, assim, impossibilidades jurídicas (a não ser, claro, que as Partes cogitem emendar o ato de criação da Organização). Ainda assim, o relatório Madia é documento do maior relevo para o entendimento da OI-ITER, e seu vazamento talvez faça parte da estratégia de reformas a ser empreendida a partir de 2014, e que, tudo indica, começou com a substituição do DG Osamu Motojima, em março de 2015, pelo físico francês Bernard Bigot. Ao promover as incontornáveis adaptações de um relatório de natureza empresarial à lógica político-diplomática, o Conselho tentará, provavelmente, assumir o controle da narrativa e plasmar a imagem de que, apesar das dificuldades conjunturais, o ITER vale todos os esforços, e deverá entrar para a história da energia de fusão – e talvez para a mundial – como um êxito, não como um fracasso.

2.4. Propriedade intelectual

Apesar de a retórica da Organização ser pródiga em referências à fusão nuclear como uma “fonte inesgotável de energia em benefício de toda a humanidade”, o ITER está muito longe de constituir plataforma aberta de ciência, tecnologia e inovação. No período anterior a 1958, a proteção das descobertas e invenções de homens como Lyman Spitzer e Andrei Sakharov era evidente decorrência das considerações estratégicas das superpotências. No presente, são, sobretudo, considerações econômicas – embora o ângulo estratégico ainda conte – que motivam as sete Partes a proteger a propriedade intelectual preexistente e, sobretudo, a estabelecer a moldura jurídica para a proteção dos direitos às tecnologias e inovações, diretas ou derivadas, que o trabalho conjunto na OI-ITER deverá gerar. Conforme frisa o antigo diretor-geral Osamu Motojima, “todos os resultados científicos e avanços alcançados pelo ITER serão compartilhados entre os sete membros participantes, que vão aprender ali como realizar a fusão para depois desenvolverem suas próprias usinas de geração de energia”²⁴⁸.

O artigo 10 e o anexo I do acordo constitutivo de 2006 dispõem sobre a disseminação, o intercâmbio, o uso e a proteção das informações²⁴⁹ e da propriedade intelectual²⁵⁰ no âmbito da implementação conjunta do Projeto ITER, em bases equitativas e não discriminatórias entre a Organização e seus membros. Com relação às informações de natureza científica, decorrentes das atividades do projeto, é assegurado a cada membro o direito de traduzi-las, reproduzi-las e distribuí-las publicamente, desde que

248 Entrevista a “O Estado de S. Paulo”, 20 de janeiro de 2013.

249 No caso, “informações” são os dados publicados, desenhos, projetos, cálculos, relatórios e outros documentos, dados ou métodos documentados de pesquisa e desenvolvimento, bem como as descrições de invenções ou descobertas, independentemente de serem ou não passíveis de proteção, que não estejam cobertas pelo termo “propriedade intelectual”.

250 Por “propriedade intelectual” entende-se o conceito definido no artigo 2º da “Convenção que institui a Organização Mundial da Propriedade Intelectual”, de 1967 (invenções em todos os domínios da atividade humana, descobertas científicas, desenhos, modelos e marcas industriais), incluindo informações confidenciais como *know-how* ou segredos comerciais.

para fins não comerciais²⁵¹. Quanto à propriedade intelectual, o regime de compartilhamento entre os membros faz uma distinção entre a preexistente (*background IP*) – que abrange aquela adquirida, desenvolvida ou produzida antes da entrada em vigor do acordo de 2006 ou fora de seu âmbito – e a gerada (*generated IP*) ou adquirida no projeto, seja por uma Parte, por meio de sua Agência Doméstica ou de outra entidade nacional, seja pela Organização ITER no desempenho de suas funções²⁵². Todos os contratos e convênios celebrados pelas Agências Domésticas no âmbito dos arranjos licitatórios devem incluir disposições sobre eventuais direitos de propriedade intelectual relacionados aos bens contratados²⁵³.

Nos termos do artigo 4º do anexo I, toda a Parte que gerar propriedade intelectual durante a execução do acordo gozará dos direitos e títulos conexos, mas estará obrigada a conceder licença irrevogável, não exclusiva e isenta de *royalties* em benefício das demais Partes e da Organização ITER, tendo aqueles o direito de conceder sublicenças em seus respectivos territórios para programas públicos de pesquisa e desenvolvimento em energia de fusão. No caso do eventual interesse de uso comercial por pessoa jurídica de um dos Estados-membros, a obrigação da Parte geradora é a de conceder licença não exclusiva em termos não menos favoráveis que os oferecidos a pessoas jurídicas dentro ou fora de seu próprio território²⁵⁴. Tendo em mente os *spin-offs*, os membros da OI-ITER são estimulados, ainda, a estabelecer acordos comerciais entre si com vistas à utilização da propriedade intelectual gerada em outros domínios que não a fusão.

Caso uma Parte seja detentora de propriedade intelectual preexistente em componentes essenciais para a construção, operação e manutenção do reator, também existe a obrigação de concessão de

251 ANEXO SOBRE INFORMAÇÃO E PROPRIEDADE INTELECTUAL AO ACORDO ITER, artigo 3º

252 *Id.*, artigo 1º.

253 ACORDO ITER, artigo 10º, parágrafo 3º.

254 ANEXO SOBRE INFORMAÇÃO E PROPRIEDADE INTELECTUAL AO ACORDO ITER, artigo 4º.

licença irrevogável, não exclusiva e isenta de *royalties* em benefício das demais Partes e da Organização, uma vez mais com a possibilidade de concessão de sublicenças a programas públicos de fusão. Essas licenças aplicam-se igualmente a materiais de treinamento e manuais dos referidos componentes. Na hipótese de uso comercial de *background IP*, inexistente a obrigação de licenciamento, apenas a recomendação de que todos os esforços sejam envidados para a concessão de licença comercial por meio de contratos. Em clara demonstração de que a Organização é um “clube fechado” e de que transferência de tecnologia ocorrerá apenas na dimensão intra-ITER, as Partes somente poderão licenciar propriedade intelectual gerada a não membros de acordo com regras estabelecidas por decisão unânime do Conselho, o que ainda não ocorreu²⁵⁵.

A Organização ITER será a detentora dos direitos da propriedade intelectual por ela gerada na implementação do projeto, sendo sua responsabilidade fazer a devida comunicação, registro e proteção. Essa propriedade intelectual será objeto de licenças irrevogáveis, não exclusivas e isentas de *royalties* aos membros, que poderão conceder sublicenças nos seus respectivos territórios para programas de pesquisa e desenvolvimento em fusão, inclusive de natureza comercial (com a diferença de que, neste último caso, há a necessidade de contrato). Os *royalties* decorrentes da concessão dessas licenças constituirão um recurso financeiro direto da Organização ITER. Caso a Organização tenha incorporado *background IP* em componentes essenciais de uma ou mais Partes, serão envidados esforços para que sejam concedidas as sublicenças pertinentes às demais Partes interessadas. Quanto ao licenciamento a não membros de propriedade intelectual gerada, a OI-ITER também terá de observar as futuras regras decididas por unanimidade pelo Conselho. Já a propriedade intelectual gerada pelos funcionários contratados ou cedidos à Organização ITER pertencerá

255 *Ibid.*

a esta, previsão que deverá constar obrigatoriamente dos respectivos contratos de trabalho (incluindo, naturalmente, contrapartidas). Essa regra vale também para os pesquisadores visitantes das Partes, exceto nos casos especiais autorizados pelo Conselho²⁵⁶.

Desde 2009, a OI-ITER conta com um grupo informal de propriedade intelectual, vinculado ao Departamento de Administração. Suas funções incluem a operação e o monitoramento de um banco de dados de propriedade intelectual, bem como a avaliação dos casos de *generated IP* pela Organização – incluindo a eventual recomendação de solicitação de patentes, cuja formalização caberá ao gabinete do diretor-geral. Como indicação da centralidade do tema para o projeto, todos os funcionários da OI-ITER passam por treinamento periódico sobre propriedade intelectual²⁵⁷.

A grande certeza é que, se a Organização ITER gerar uma derivação tecnológica como a *world wide web*, essa será provavelmente enquadrada no regime de proteção propriedade intelectual – o oposto do que fez a Organização CERN com o trabalho de Tim Berners-Lee há vinte anos.

2.5. Cooperação internacional

O acordo constitutivo de 2006 abre à Organização ITER a possibilidade de estabelecimento de cooperação com terceiros países e outras instituições e organizações internacionais, inclusive por meio de acordos ou convênios bilaterais. A negociação e a autorização para que o diretor-geral assine esses instrumentos dependerá de uma decisão unânime do Conselho²⁵⁸.

256 *Id.*, artigos 5º e 6º.

257 PARRAVICINI, Daniele et al. *Practical management of Intellectual Property (IP) at the ITER Organization* (apresentação).

258 ACORDO ITER, artigo 19.

O primeiro ato internacional da OI-ITER foi o acordo de sede, firmado com o governo da República Francesa em 7 de Novembro de 2007, que estabelece série de compromissos relacionados à aplicação dos privilégios e imunidades da Organização, ao apoio a sua instalação e ao cumprimento das normas francesas de segurança pública, proteção ambiental, segurança nuclear e proteção radiológica²⁵⁹. Na verdade, essas questões já haviam sido quase inteiramente cobertas pelo acordo constitutivo e anexos, mas, como a França não é uma Parte direta da Organização, apenas o Estado anfitrião, julgou-se conveniente negociar acordo bilateral específico, de forma a dirimir quaisquer dúvidas sobre a incorporação desses compromissos na legislação interna francesa²⁶⁰.

Por intermédio da Euratom, a França já havia assumido a obrigação de ceder terreno de cento e oitenta hectares do centro de Cadarache e disponibilizar serviços como água, eletricidade, esgotos e drenagem, bem como garantir as condições adequadas de transporte até o porto de Marselha ou o aeroporto de Marignane (ambos a setenta quilômetros do ITER). No caso das estradas, isso implicou reforços estruturais para suportar as pesadas cargas de componentes e, no caso da eletricidade, linhas de transmissão para o fornecimento exclusivo de até 500 MWe para as futuras necessidades de operação do reator. Os compromissos de sede também incluem a manutenção de escola internacional para a educação dos filhos dos funcionários da Organização²⁶¹. Vale recordar, ainda, que o licenciamento nuclear do ITER – a primeira instalação de energia de fusão a recebê-lo – foi completado pela Autoridade de Segurança Nuclear da França (ASN) em 12 de novembro de 2012²⁶².

O segundo acordo internacional da OI-ITER foi firmado com o Principado de Mônaco em 16 de janeiro de 2008. O instrumento

259 "ITER Newslime", 19 de dezembro de 2007.

260 GRAMMATICO-VIDAL, Laetitia, *op. cit.*

261 A *Provence-Alpes-Côte d'Azur International School* abriu suas portas em Manosque, em 2007, com ensino em seis idiomas.

262 ACORDO ITER, anexo II, artigos 4º a 6º.

prevê contribuição financeira monegasca à Organização no valor de 5,5 milhões de euros em um período de dez anos, dos quais 150 mil euros anuais para a organização de conferências científicas sobre o ITER e o restante para um programa de cinco bolsas de pós-doutorado em energia de fusão. A parceria também prevê a realização a cada dois ou três anos, no Principado, do *Monaco-ITER International Fusion Energy Days* (MIIFED), que entrou no calendário da fusão ao lado das conferências bienais da AIEA (os chamados “jogos olímpicos do plasma”)²⁶³.

Em 6 de março de 2008, a OI-ITER assinou acordo com a Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), que prevê cooperação em áreas técnicas (supercondutores, eletroímãs, sistemas criogênicos, diagnósticos e engenharia civil complexa) e administrativas (mecanismos de finanças e de compras, gestão de recursos humanos e de tecnologias da informação). As duas organizações compartilham alguns desafios tecnológicos, sobretudo os relacionados à operação de campos magnéticos intensos, e muitos cientistas ocuparam posições de comando tanto no CERN, quanto no ITER (por exemplo, o britânico Chris Llewellyn-Smith, primeiro presidente do Conselho, e o francês Robert Aymar, coordenador do projeto de engenharia do reator entre 1994 e 2003)²⁶⁴.

A fase inicial – e até o momento, única – de acordos internacionais da OI-ITER foi encerrada com a assinatura de acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica, em 13 de outubro de 2008. Pelo instrumento, as Partes comprometem-se a manter estreita cooperação em temas de interesse mútuo (basicamente, questões científicas) e estabelecem representação recíproca em suas reuniões, sem direito a voto. O diretor-geral da AIEA ou seus representantes podem acompanhar as reuniões do Conselho da OI-ITER e de seus comitês assessores, enquanto o diretor-geral da OI-ITER ou seus representantes podem

263 Comunicado Conjunto ITER-Mônaco de 16 de janeiro de 2008.

264 Press release da Organização ITER, 6 de março de 2008.

fazer o mesmo na Conferência Geral da AIEA. O acordo prevê, ainda, programa de cooperação bilateral com foco em treinamento, organização de conferências científicas, física de plasmas, desenvolvimento de materiais e segurança²⁶⁵.

No presente, exceto pelos casos acima mencionados, a cooperação internacional extra-ITER é praticamente nula, situação que talvez se altere depois da conclusão do reator, com sua possível utilização – em princípio, remunerada – para experimentos de terceiros países. Por enquanto, a unidade de cooperação internacional, vinculada ao gabinete do diretor-geral, tem-se dedicado basicamente à coordenação com as Agências Domésticas e à negociação de memorandos de entendimento com entidades, em geral universidades ou centros de pesquisa, dos membros. Algumas Partes, no entanto, têm firmado acordos bilaterais sobre energia de fusão com impacto indireto sobre as atividades de pesquisa e desenvolvimento do ITER. É o exemplo do acordo Brasil-Euratom de 2009, que é analisado no capítulo 5.

2.6. Adesão e denúncia

O artigo 23 do acordo constitutivo admite que, após sua entrada em vigor (ou seja, 24 de outubro de 2007), qualquer Estado ou organização internacional poderá aderir como Parte e tornar-se membro pleno da Organização ITER, bastando manifestação favorável do Conselho por unanimidade. Os eventuais interessados terão de notificar sua intenção ao diretor-geral, que deverá informar os membros com a antecedência mínima de seis meses à deliberação pelo Conselho. Esse procedimento não se aplica à eventual incorporação de países à Euratom, no contexto do alargamento da UE (como foi o caso da Bulgária e da Romênia em 2007 e o da Croácia em 2013).

265 “Cooperation Agreement between the International Atomic Energy Agency and the ITER International Fusion Energy Organization”, 13 de outubro de 2008.

Como observado na introdução, é improvável a adesão de novo membro pleno, tendo em vista que quase 90% do valor dos arranjos licitatórios do ITER já foi dividido entre as sete Agências Domésticas dos membros fundadores²⁶⁶. Em outras palavras, não há mais como assegurar, em bases equitativas e não discriminatórias, os benefícios tecnológicos e econômicos da construção do reator a novos membros. Desde a entrada em vigor do acordo constitutivo, houve apenas uma pequena janela de tempo em que isso teria sido possível, fechada em meados de 2010. Nesse período, o nível de alocação dos PAs ainda não havia alcançado 50% e a crise econômico-financeira de 2008 ameaçava a continuidade do projeto, o que levou algumas Partes, em especial os europeus, a estimular a ampliação.

No caso do Brasil²⁶⁷, a hipótese de adesão foi abertamente mencionada por Octavi Quintana Trias, diretor responsável pela Euratom na Direção-Geral de Pesquisa e Inovação da Comissão Europeia, em reuniões realizadas em Brasília, em 4 e 5 de junho de 2009. Nessa ocasião, a seus interlocutores no Itamaraty, no Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e na Comissão Nacional de Energia Nuclear, Quintana transmitiu o “grande interesse europeu” pelo ingresso do Brasil no ITER como membro pleno, e estimou o valor da contribuição *in kind* do país em “cerca de 800 milhões de dólares em um período de doze anos”, salientando que a decisão brasileira teria de ser tomada até o final daquele ano²⁶⁸. Esse valor corresponderia a uma quota de 1/11 dos custos estimados à época para a construção do reator, em uma indicação de que, em meio à crise, a ideia das autoridades europeias não era a de estabelecer novo rateio entre as Partes do ITER (nesse caso, o valor citado por Quintana teria sido menor, correspondente a 1/12), mas a de reduzir a quota da Euratom

266 MOTOJIMA, Osamu. *Specific goals, progress and needs of talents for ITER Project* (apresentação).

267 Esta seção trata sobre a hipótese de adesão do Brasil após a vigência do acordo constitutivo, em outubro de 2007. As propostas e consultas sobre a eventual entrada do país no Projeto ITER, anteriores a 2007, são tratadas no capítulo 5 (sobre a energia de fusão no Brasil).

268 Despacho telegráfico 263, de 16 de junho de 2009, para a Delegação do Brasil junto à UE.

de 5/11 para 4/11. O assunto não teve continuidade, pois o lado brasileiro informou Quintana de que sua abordagem internacional em fusão nuclear passaria antes pelo estabelecimento de programas de cooperação bilateral, a começar com os próprios europeus (naquela altura, as negociações do acordo Brasil-Euratom estavam quase finalizadas)²⁶⁹.

Entre 2007 e 2009, também foi cogitada a adesão do Cazaquistão, que já havia integrado o ITER como membro associado da Federação Russa por ocasião da assinatura, em 1992, do acordo para a elaboração do projeto de engenharia. Em julho de 2007, com apoio russo, o Cazaquistão indicou interesse em ingressar na OI-ITER²⁷⁰. Diante das limitações do programa cazaque de pesquisa e desenvolvimento em fusão nuclear, a motivação da candidatura vinha principalmente de empresas interessadas em participar dos *procurement arrangements* do ITER, em especial a estatal Kazatomprom (cuja subsidiária Ulba desejava fornecer ligas com berílio) e a Byelkamit, uma antiga fábrica de matéria bélico convertida em empresa de engenharia pesada²⁷¹. As negociações arrastaram-se ao longo de 2008 e, com a indicação de que os interesses industriais cazaques não seriam atendidos, Astana desistiu de participar do projeto.

Depois de concluído o reator, por volta de 2020, o ingresso de um novo membro talvez volte a fazer sentido, ainda que, de um ponto de vista exclusivamente financeiro, seria mais lógico negociar alguma modalidade de convênio bilateral que permita, por exemplo, a utilização da máquina para testes ou experimentos individuais. A adesão plena implicaria a obrigação de arcar com os custos da operação por vinte a trinta anos, além dos custos de desativação e descomissionamento, sem a garantia de acesso automático à propriedade intelectual gerada ou de *background*.

269 *Id.*

270 Despacho da agência RIA Novosti, 13 de julho de 2007.

271 "ITER Newslines", 8 de dezembro de 2008.

Quanto à hipótese de saída de um membro da OI-ITER, o artigo 26 do acordo constitutivo permite que, após um período de dez anos de vigência, qualquer Parte notifique sua intenção de denunciá-lo, com a exceção da anfitriã. Trata-se de outro cenário improvável até pelo menos 2020, pois esse ato em nada afetaria a obrigação de contribuição da Parte denunciante para os custos da fase de construção das instalações do ITER. Caso a denúncia ocorra na fase de operação do reator, tampouco haverá efeitos nas contribuições para os custos de desativação e descomissionamento²⁷². Na prática, até a conclusão das obras do ITER, o mecanismo de financiamento e compras cria vínculo quase indissolúvel entre as Partes e a Organização (no caso da Euratom, ele é expressamente indissolúvel em qualquer fase).

Embora seja quase impossível que uma Parte denuncie unilateralmente o acordo, há o risco de que a permanência de um membro na Organização seja inviabilizada por questões fora do controle dos respectivos governos. No caso dos Estados Unidos, existe sempre o cenário de dificuldades com o Legislativo, que há muito vem expressando sua insatisfação com o andamento do ITER e ameaçando a repetição do corte orçamentário feito em 1998-1999. Note-se que o acordo constitutivo nada diz a respeito da inadimplência de um membro. No caso da Rússia, há o temor de que as sanções estadunidenses e europeias na esteira da crise da Crimeia venham a dificultar sua participação (nunca é demais recordar que a primeira reunião do Conselho que os russos receberiam, em São Petersburgo, em junho de 2014, teve de ser transferida para Saint-Paul-lez-Durance).

2.7. Solução de controvérsias

Problemas como os aventados na seção anterior dependerão, caso se concretizem, da aplicação das regras de solução de controvérsias

²⁷² ACORDO ITER, artigo 26.

internas da Organização ITER – tema que Marotta Rangel define como uma das “questões nucleares do Direito Internacional Público”²⁷³. Por pressão dos Estados Unidos na fase final de negociações para a criação da Organização, o acordo constitutivo prevê que as controvérsias sejam encaminhadas por mecanismos políticos, como a mediação, e admite mecanismos jurídicos vinculantes apenas quando as Partes interessadas concordarem, após negociação *ad hoc*²⁷⁴.

Nos termos do artigo 25 do acordo de 2006, qualquer questão que surja entre as Partes ou entre uma ou mais Partes e a Organização ITER deverá ser resolvida por consultas ou outros procedimentos a acordar. Caso a controvérsia persista, uma das Partes pode solicitar ao presidente do Conselho (ou ao vice-presidente em caso de suspeição) para atuar como mediador em uma primeira reunião de conciliação, a ser convocada no prazo máximo de trinta dias. O processo deve ser concluído em até sessenta dias com a apresentação do relatório da mediação, que não tem caráter vinculante. Se um dos membros envolvidos não concordar com as recomendações do mediador, o acordo constitutivo limita-se a dizer – em pouco esclarecedora formulação jurídica – que as Partes em litígio “may agree to submit the dispute to an agreed form of dispute resolution in accordance with procedures to be agreed”²⁷⁵.

O anexo sobre propriedade intelectual e o acordo complementar sobre privilégios e imunidades nada acrescentam à questão. Já o acordo de sede firmado entre a OI-ITER e o governo francês dispõe que, se as negociações diretas não se mostrarem suficientes para solucionar controvérsias, qualquer parte poderá solicitar arbitragem internacional²⁷⁶. Eventuais conflitos trabalhistas entre a Organização

273 MAROTTA RANGEL, Vicente, *op. cit.*, p. 62.

274 HARDING, Todd et al. *International Fusion Energy Cooperation: ITER as a Case Study in Science and Diplomacy* (artigo).

275 ACORDO ITER, artigo 25, parágrafo 3º.

276 *Agreement between the Government of the French Republic and the ITER International Fusion Energy Organization regarding the Headquarters of the ITER Organization*, 7 de novembro de 2007.

e seus funcionários encontram-se, desde 2008, sob jurisdição do Tribunal Administrativo da Organização Internacional do Trabalho (OIT)²⁷⁷.

2.8. O núcleo da OI-ITER: o reator experimental de Cadarache

O objetivo primordial da Organização ITER é a demonstração da viabilidade científica e tecnológica da energia de fusão para fins pacíficos. O instrumento principal para a consecução desse objeto é uma máquina experimental, o *tokamak* ITER em Cadarache/Saint-Paul-lez-Durance, cujo projeto, construção e operação deverá indicar o caminho para a primeira geração de reatores capazes de produzir eletricidade a partir de reações controladas de fusão. Como costumam repetir as lideranças da Organização, essa será a “máquina mais complexa já construída pelo ser humano”, um “quebra-cabeça de 23 mil toneladas e mais de um milhão de peças de alta tecnologia”²⁷⁸. Será, acima de tudo, um extraordinário exemplo de articulação entre governos de 35 países, sete Agências Domésticas, dezenas de universidades e centros de pesquisa e desenvolvimento, e centenas de empresas, muitas das quais de pequeno ou médio porte.

Ao prever as atribuições da OI-ITER, o acordo constitutivo de 2006 deixa claro que seus objetivos programáticos são os estabelecidos no relatório final das atividades do projeto de engenharia (EDA), aprovado em 19 de julho de 2001 em reunião na sede da AIEA em Viena (à época, integravam a iniciativa apenas a Euratom, a Federação Russa e o Japão)²⁷⁹. Conforme indica o documento e suas posteriores adaptações, o reator deverá ser capaz de: i) operar plasmas prolongados com o combustível deutério-trítio; ii) testar simultaneamente todos os sistemas e tecnologias indispensáveis para a aplicação prática da fusão

277 Carta do DG da OI-ITER ao DG da OIT, 1º de agosto de 2008.

278 MOTOJIMA, Osamu, *op. cit.* e ORGANIZAÇÃO ITER. *ITER... the way to new energy* (brochura).

279 ACORDO ITER, artigo 3º, parágrafo 1º.

nuclear em um reator nucleoeletrico, incluindo a produção *in situ* de trítio a partir de camadas férteis de lítio ou outros materiais. As metas técnicas do ITER incluem: i) a manutenção de plasmas de fusão por pulsos de pelo menos quatrocentos segundos; e ii) a consecução do primeiro *breakeven* na história da energia de fusão (balanço energético positivo à proporção mínima de um para dez, isto é, a geração de pelo menos 500 MWt de potência térmica para cada 50 MW consumidos na operação do reator)²⁸⁰. Cabe recordar que a meta da “ignição” (reação autossustentada de fusão, fundamental para a operação de um reator comercial) foi eliminada em 2001 a fim de diminuir pela metade os custos do projeto, mas segue como uma “possibilidade a ser explorada”, com o *breakeven* na proporção de um para trinta e uma potência térmica de 1,5 GWt²⁸¹.

Desde a instalação da Organização em 2007, os cronogramas de construção e operação do ITER já passaram por inúmeras alterações e deverão sofrer mais uma em breve, teoricamente a última, no âmbito da implementação das recomendações do relatório Madia. Por enquanto, os planos preveem a conclusão da montagem do *tokamak* em fins de 2019, de modo que o primeiro plasma com hidrogênio possa ocorrer em 2020, com deutério em 2026 e com deutério-trítio em 2027. Segundo funcionários da própria OI-ITER, é bastante provável que esses marcos aconteçam com um atraso de três a quatro anos, supondo que nenhuma nova grande barreira científica, tecnológica, financeira ou administrativa seja identificada²⁸². Em princípio, todas as metas técnicas deverão ter sido alcançadas até 2030, considerado como ano de referência para o desenvolvimento do “próximo passo”, o reator de demonstração, que será tratado na seção seguinte.

280 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA. *Final report of the ITER engineering design activities*, p. 4.

281 MOTOJIMA, Osamu, *op. cit.*

282 Revista “The New Yorker”, 3 de março de 2014.

O Projeto ITER baseia-se no conhecimento acumulado nas últimas quatro décadas com a operação de *tokamaks* como o T-3 soviético e seus sucessores, o JET e as demais máquinas europeias (sobretudo a alemã ASDEX²⁸³), o estadunidense TFTR e o japonês JT-60. Espera-se que o reator ora em construção no Sul da França vá muito além dos resultados desses precursores e, conforme previsto em seus objetivos programáticos, teste os materiais, os conceitos e as soluções integradas para os principais desafios tecnológicos de um grande *tokamak*, que poderiam ser agrupados da seguinte forma: a) supercondutores; b) vácuo; c) materiais ultrarresistentes; d) aquecimento externo; e) criogenia e refrigeração; f) diagnósticos e controle; g) manipulação remota; e h) ciclo do combustível de fusão (para uma representação gráfica do reator de Cadarache, *vide* anexo 3.1). Para os propósitos deste livro, a fim de ilustrar a diversidade do escopo industrial do projeto e a dimensão das contratações internacionais por meio dos arranjos licitatórios, é conveniente descrever e comentar os parâmetros desses grandes desafios, o que é feito, de modo resumido, a seguir²⁸⁴:

a) Supercondutores

Como o ITER segue a rota do confinamento magnético do plasma, esta é uma das áreas mais relevantes do projeto e absorverá aproximadamente 28% de seu capital direto e 27% dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. O sistema magnético do ITER é formado por dezoito bobinas supercondutoras de campo toroidal (TF), seis bobinas de campo poloidal (PF), um solenoide central e um conjunto de bobinas corretoras e suplementares. Para que esse sistema gere os campos suficientemente intensos para conter o plasma, são necessários eletroímãs supercondutores feitos de nióbio-

283 A ASDEX, em Garching (Baviera), identificou o chamado modo-H de confinamento, essencial para o controle do plasma em um grande *tokamak*.

284 Exceto quando citado de outra forma, as fontes principais desta seção serão os documentos “*Final report of the ITER engineering design activities*” (AIEA) e “*Common Understandings on Procurement Allocation*” (OI-ITER) e as informações técnicas disponibilizadas no sítio eletrônico da Organização. Disponível em: <www.iter.org>.

-estanho (nas bobinas TF e no solenoide central) ou de nióbio-titânio (bobinas PF e corretoras) e resfriados por hélio a temperaturas de 269 graus centígrados negativos. É curioso observar que um grande *tokamak* exige, portanto, variação de extremos de temperatura em uma distância de poucos metros: dos mais de 150 milhões de graus centígrados do plasma de fusão a um valor próximo do zero absoluto.

As dezoito bobinas de campo toroidal formam, ao lado da câmara de vácuo, o maior componente do ITER, com um peso total de 6,5 mil toneladas, e exigirão três arranjos licitatórios distintos: i) a fabricação de oitenta mil quilômetros de fios supercondutores de nióbio-estanho (alocados a todos os membros, com exceção da Índia); ii) a transformação desses fios em cabos especiais (PA dividido entre Euratom e Japão); e iii) a montagem final das bobinas (95% para o lado japonês e 5% para o europeu).

As seis bobinas de campo poloidal fazem o papel de “pinça” magnética, ajudando a controlar a forma do plasma dentro da câmara de vácuo. Por suas dimensões, cinco dessas bobinas terão de ser montadas em Cadarache (um PA exclusivo da Euratom) e uma virá pronta da Rússia. Já os cabos supercondutores de nióbio-titânio serão fabricados majoritariamente pelo lado chinês.

O solenoide central – em essência, um transformador gigantesco – induz a corrente elétrica no plasma confinado (o diferencial do *tokamak* de Sakharov em relação ao *stellarator* de Spitzer), aquecendo-o e também o controlando. É formado por seis módulos (um PA exclusivo dos Estados Unidos) com cabos de nióbio-estanho encomendados pelo lado japonês²⁸⁵. Empilhadas com altíssima precisão, esses seis módulos formarão um conjunto com a altura de treze metros e um peso de mais de mil toneladas.

285 A edição de 3 de março de 2014 da revista “The New Yorker” traz interessante relato sobre a montagem dos módulos do solenoide central, cada um com duzentas toneladas, pela General Atomics em Sycamore Canyon (Califórnia), e dos problemas com a qualidade dos cabos fornecidos pelos japoneses. Relata, ainda, as complicadas providências de transporte dos seis módulos, que deverão percorrer o trecho marítimo entre os portos de Galveston (Texas) e Marselha. A General Atomics, como veremos, é uma das empresas privadas mais interessadas na energia de fusão nuclear.

As pequenas bobinas de correção – cujo valor em IUAs corresponde a menos de 1% do das demais bobinas – foram inteiramente alocadas à China. Bobinas suplementares (com PA a definir) serão instaladas para atenuar uma das mais problemáticas instabilidades do plasma, os chamados *edge localized modes* (os ELMs, que podem ser comparados às erupções solares)²⁸⁶.

b) Vácuo

No formato geométrico de um toroide, com capacidade para plasmas de 840 metros cúbicos, a câmara de vácuo do ITER terá o dobro do tamanho (seu diâmetro é de seis metros) e dezesseis vezes o peso (cinco mil toneladas) dos *tokamaks* de geração anterior. Conterá com parede dupla de aço inoxidável, com espessura de seis centímetros, e 44 portas para o acesso dos sistemas de vácuo, aquecimento e diagnósticos e das operações de manipulação remota. Sua superfície interna de 680 metros quadrados será revestida com módulos especiais de blindagem (nos reatores comerciais, esse revestimento deverá ser feita por camada fértil de lítio para a produção *in situ* de trítio). Trata-se de um dos componentes mais convencionais do projeto (em essência, um vaso com características não muito diferentes dos usados em usinas nucleares de fissão), absorvendo 8% do capital direto e apenas 5% dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. A estrutura principal do vaso será construída em arranjo licitatório alocado às Agências Domésticas europeia e sul-coreana, enquanto as portas de acesso serão divididas entre a russa e a sul-coreana.

c) Materiais ultrarresistentes

A câmara de vácuo será revestida por camada (*blanket*) de 440 módulos de 1 metro por 1,5 metro, responsável pela blindagem contra o calor do plasma e também contra os nêutrons resultantes das

286 “ITER Newslines”, 4 de março de 2011.

reações de fusão. Na verdade, será a transformação da energia cinética desses nêutrons rápidos em energia térmica que possibilitará a futura operação de um reator comercial nucleoeletrico. Voltados diretamente ao plasma, esses módulos constituem, portanto, um dos aspectos mais delicados e desafiadores do ITER, que testará materiais feitos com berílio e ligas de cobre, zircônio e cromo. Para a etapa de operações com combustível DT, a partir de 2027, serão empregados os módulos-teste de camada fértil (*test breeding module*, ou TBM) para a produção de trítio dentro do reator. Outra camada voltada diretamente ao plasma será a dos divisores, formada por 54 peças (gavetas ou *cassettes*) situadas no fundo da câmara de vácuo e com a vital missão de eliminar as impurezas do plasma, incluindo as “cinzas” de hélio (assim como no Sol, um dos produtos da fusão nuclear). A ideia original era a de testar dois materiais no divisor, um composto de fibras de carbono e uma liga de tungstênio. Por questões financeiras, apenas a última deverá ser testada²⁸⁷.

Os gastos com os módulos de blindagem e o divisor corresponderão a cerca de 9% do capital direto e mais de 30% dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento – indicador de sua importância para o futuro da energia de fusão. Os módulos serão divididos em PAs atribuídos a todas as Partes, novamente com a exceção da Índia. Já o divisor deverá ser objeto de uma parceria entre Euratom, Japão e Federação Russa.

d) Aquecimento externo

Além do aquecimento produzido pela corrente elétrica interna, os plasmas de fusão necessitarão de sistemas externos complementares para alcançar as temperaturas superiores a 150 milhões de graus centígrados. No ITER, esses sistemas incluem a injeção de feixes neutros (*neutral beams*) e duas fontes de ondas eletromagnéticas de

287 Revista “The New Yorker”, 3 de março de 2014. Essa decisão teria sido objeto de severas críticas entre os cientistas da Organização.

alta frequência, que, em conjunto, fornecerão os 50 MW de potência necessários para desencadear as reações termonucleares. Teoricamente, para reações autossustentadas (ignição), esse aquecimento seria necessário apenas no início das operações, tornando-se redundante a medida em que o calor é fornecido por outro subproduto da fusão: as partículas alfa (os núcleos atômicos de hélio). Os valores dos sistemas de aquecimento externo representam 7% do capital direto e 8% da pesquisa e desenvolvimento do ITER.

Na injeção de feixes neutros (*neutral beam injection*), aceleradores externos energizam partículas de carga elétrica neutra e as introduzem no *tokamak*, em altíssimas velocidades. O sistema apresenta inúmeras dificuldades técnicas e sua montagem caberá a uma parceria nipo-europeia.

A primeira fonte de ondas eletromagnéticas utiliza a tecnologia de ressonância ciclotrônica iônica (ICRH) e será fabricada por europeus, estadunidenses e indianos (a Agência Doméstica da Índia recebeu o PA integral para a fabricação da emissora das ondas de radiofrequência). A segunda fonte usa a ressonância ciclotrônica eletrônica (ECRH) e será elaborada por cinco partes (Euratom, Estados Unidos, Japão, Rússia e Índia).

e) Criogenia e refrigeração

O criostato e os sistemas de criogenia e refrigeração correspondem a 6% do capital direto e a menos de 3% dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. A Índia recebeu os PAs equivalentes a dois terços do orçamento total nessa área.

O criostato é uma estrutura convencional de aço inoxidável (com 29 metros de altura, 30 de diâmetro, 8,5 mil metros cúbicos de volume e peso de 3,8 mil toneladas) que envolve toda a câmara de vácuo e o conjunto das bobinas supercondutoras. Também mantido em vácuo o criostato será cercado por uma camada de concreto de dois metros de espessura (a chamada *bioshield*). A estrutura será produzida pelo

conglomerado indiano de engenharia Larsen & Toubro no estado de Gujarat, e suas partes serão depois montadas e soldadas por essa mesma empresa em Cadarache²⁸⁸.

No ITER, as tecnologias de criogenia serão utilizadas principalmente para manter os eletroímãs a baixíssimas temperaturas, que, como vimos, estarão apenas quatro graus acima do zero absoluto. O resfriamento será feito por meio de rede de linhas com fluido criogênico, alimentada por uma “criofábrica” à base de hélio e nitrogênio no exterior do reator. Será o maior sistema criogênico concentrado do mundo, comparável apenas ao do Grande Colisor de Hádrões da Organização CERN. A “criofábrica” foi objeto de um arranjo licitatório dividido entre a Euratom e o fundo conjunto da OI-ITER. Os sistemas de distribuição serão feitos na Índia.

O reator prevê, ainda, circuitos de água com o objetivo de dissipar o calor gerado pelos plasmas de fusão e de refrigerar sistemas como o dos aquecedores de ondas eletromagnéticas. Esses circuitos de água movimentarão as turbinas das futuras usinas de fusão. No ITER, no entanto, o calor não será transformado em eletricidade, mas apenas dissipado no meio ambiente em processo controlados, que incluem descargas de água, a no máximo trinta graus centígrados no rio Durance. Estados Unidos e Índia receberam os maiores PAs para esse sistema de arrefecimento.

f) Diagnósticos e controle

Em área que gerou inúmeros problemas e constrangimentos ao longo da história da energia de fusão, o ITER terá à disposição um dos mais sofisticados sistemas de diagnósticos, capaz de medir com a máxima precisão os parâmetros fundamentais do plasma (temperatura, densidade e tempo de confinamento) e outras variáveis dentro da câmara de vácuo. No total, serão quase cinquenta instrumentos

288 “ITER Newslite”, 3 de setembro de 2012.

individuais, que empregarão em condições extremas de calor, pressão e irradiação – em alguns casos de forma inédita – técnicas como *laser*, raios X, micro-ondas, espectroscopia e bolometria.

Os investimentos em diagnósticos representam cerca de 4% do capital direto e 2,5% da pesquisa e desenvolvimento. Euratom, Estados Unidos, Japão e Rússia dividiram quase na íntegra os PAs, com pequenas parcelas de 3% atribuídas a China, República da Coreia e Índia.

Os dados de diagnóstico e desempenho alimentarão as bases do sistema CODAC (controle, acesso a dados e comunicação), o cérebro da operação integrada do ITER. Seus custos (cerca de 1% do capital direto e da pesquisa e desenvolvimento) foram arcados pelo fundo conjunto da Organização ITER, que fez diretamente a contratação do *hardware* e do *software* do CODAC. Seus códigos são incluídos como anexo em todos os *procurement arrangements*, de modo a assegurar que os componentes e sistemas contratados pelas Agências Domésticas falem sempre a mesma “língua”²⁸⁹.

g) Manipulação remota

As condições de vácuo e de irradiação de nêutrons impedirão o acesso de seres humanos ao interior do reator depois de seu comissionamento. Todas as atividades de inspeção, reparo ou troca de peças, algumas delas com mais de cinquenta toneladas, terão de ser feitas por um sistema de manipulação remota especialmente desenvolvido para o ITER, com as mais avançadas tecnologias de robótica.

Embora responda por apenas 3% do capital direto, essa área absorverá quase 12% dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. A manipulação remota foi dividida em seis arranjos licitatórios, em sua maioria alocados ao Japão e à Euratom (os chineses

289 “ITER Newslines”, 17 de fevereiro de 2010.

receberam uma pequena parcela do mecanismo de movimentação de peças entre o interior e o exterior do reator).

h) Ciclo do combustível

O ITER é o primeiro *tokamak* inteiramente projetado para operar com o combustível deutério-trítio (o que, vale recordar, só acontecerá a partir de 2027, depois dos testes com hidrogênio simples e com deutério). Como excelente ilustração da densidade energética propiciada pela fusão, as quantidades de combustível que circularão ao mesmo tempo na câmara toroidal serão ínfimas, nunca além de um grama²⁹⁰.

As pequenas doses de deutério-trítio serão injetadas na câmara toroidal em estado gasoso e também em sólido, na forma de *pellets* congelados (um aparente contrassenso diante das necessidades de aquecimento, mas esse é um dos mais eficientes métodos para controlar a densidade do plasma e lidar com as turbulências dos ELMs). O DT que não for “queimado” no plasma será retirado por meio dos divisores e reaproveitado, de forma que o processo possa ocorrer em ciclo fechado. Esses sistemas de injeção e reciclagem foram objeto de arranjos licitatórios alocados aos Estados Unidos e à China e não consumirão mais do que 1% dos custos totais do Projeto ITER.

O principal desafio do ciclo de combustível da fusão nuclear²⁹¹ encontra-se na produção de trítio, o isótopo radioativo do hidrogênio. Diferentemente do deutério, o trítio não é encontrado na natureza e tem de ser fabricado²⁹². Trata-se de processo antieconômico que hoje só faz sentido em alguns nichos industriais ou do ponto de vista laboratorial e militar (por exemplo, a produção de bombas termonucleares ou sua reposição, tendo em mente que esse isótopo apresenta meia-vida de doze anos).

290 Estima-se que o consumo anual de deutério-trítio pelo ITER, uma máquina experimental, não ultrapassará 150 gramas. O consumo em um reator comercial será, obviamente, maior.

291 Vale sublinhar que o ciclo do combustível da fusão não necessita de urânio, natural ou enriquecido, ou de qualquer outro material físsil.

292 McCracken, Garry; Stott, Peter, *op. cit.*, p. 137-138.

Como explanado no episódio do interesse do Canadá pelo ITER (capítulo 1), o trítio é também um subproduto dos reatores de fissão que empregam a tecnologia canadense CANDU (com urânio natural e água pesada). As necessidades de trítio para toda a vida útil do ITER, que não chegam a três quilos, deverão vir de reatores nucleares de água pesada²⁹³. Essa cadeia de fornecimento pode funcionar para máquinas experimentais, mas, pela baixa produtividade e altos custos, seria inviável para uma futura frota de reatores nucleoeletrônicos de fusão²⁹⁴.

Assim, espera-se que uma das mais relevantes contribuições do reator de Cadarache seja, precisamente, o desenvolvimento dos módulos da camada fértil (*breeding module*), capaz de utilizar os nêutrons da fusão para produzir todo o trítio necessário dentro da câmara de vácuo, em uma sequência de reações autoalimentadas. Em princípio, seis conceitos serão testados no ITER, todos empregando variações com lítio ou berílio (este como um multiplicador de nêutrons)²⁹⁵.

Também serão testadas alternativas de materiais estruturais para os módulos, que precisam apresentar baixa ativação (isto é, precisam emitir baixos níveis de radioatividade mesmo após a exposição prolongada aos nêutrons rápidos gerados pela fusão). O conceito europeu, por exemplo, prevê a utilização de uma liga especial de aço, o ODS-EUROFER. Trata-se de excelente exemplo de derivação tecnológica, pois, por suas qualidades e alta resistência, essas ligas poderão encontrar aplicações em outras áreas da engenharia, não somente na nuclear²⁹⁶.

293 Há sete reatores CANDU nos Estados-membros da OI-ITER: quatro na República da Coreia, dois na China, dois na Índia e dois na Romênia. O mais provável, no entanto, é que o ITER adquira suas necessidades do isótopo na *Tritium Recovery Facility*, em Darlington, Canadá.

294 O inventário total de trítio no mundo é hoje estimado em apenas vinte quilos.

295 GIANCARLI, L.M. et al. *Overview of the ITER TBM Program* (artigo). Cabe acrescentar que a unidade de “célula quente” (*hot cell*) do ITER, destinada a lidar com materiais irradiados por nêutrons, poderá separar pequenas quantidades de trítio para posterior reutilização.

296 PADILHA, Ângelo et al. *Os novos aços inoxidáveis EUROFER utilizados em fusão nuclear* (artigo).

Os seis conceitos para a camada fértil não integram o sistema de arranjos licitatórios, pois suas especificações não foram definidas pela OI-ITER, mas sim pelas Partes diretamente interessadas. A coordenação desse programa é feita de forma independente por um comitê vinculado diretamente ao Conselho (o TBM-PC, mencionado na seção 2.1.1). Dois tipos de módulo serão testados pela Euratom (HCLL e HCPB), enquanto os outros quatro estarão a cargo de Japão (WCCB), China (DCLL) e das parcerias EUA-República da Coreia (HCCB) e Índia-Federação Russa (LLCB)²⁹⁷. Diante do papel central da camada fértil para os futuros reatores comerciais, a opção por testes separados dessa vital tecnologia constitui clara indicação de que, depois da OI-ITER, os próximos passos serão provavelmente dados de forma isolada ou em outras configurações internacionais.

Como é possível notar, a Organização ITER é pródiga em ineditismos e complexidades de caráter multidisciplinar: da arquitetura institucional (a dicotomia OI-ADs, a avaliação independente de gestão) às modalidades de financiamento (peso das contribuições em espécie), dos sistemas do reator (tecnologias de vanguarda com potencial de *spin-offs* que deverão marcar o século XXI) à definição dos arranjos licitatórios (a difícil missão de equilibrar matemática financeira, engenharia de produção e capacitação industrial em países tão diferentes quanto Alemanha, China, Espanha, EUA, França, Índia, Itália, Japão, Portugal, República da Coreia, Romênia e Rússia). O caminho aberto pelo ITER será longo e repleto de problemas, mas a “Torre de Babel” de Cadarache já oferece uma certeza: trata-se do melhor estudo de caso de diplomacia científico-tecnológica e de integração de políticas públicas de pesquisa e desenvolvimento em toda a história.

297 GIANCARLI, L.M. et al, *op. cit.*



Capítulo 3

Os atores: membros da OI-ITER, agências domésticas e organizações internacionais relevantes

O Projeto ITER está na vanguarda da ciência e da engenharia, um poderoso exemplo da capacidade do gênio humano e da habilidade das nações em cooperar em temas de interesse global como a energia. [...] A estreita parceria entre a Organização ITER e as Agências Domésticas é o recurso mais valioso para enfrentar os desafios, esperados ou inesperados, da construção do ITER [E. VELIKHOV, presidente do Conselho da OI-ITER (2010-11)]²⁹⁸

Uma grande nação não tem qualquer desculpa para não fazer ciência de vanguarda em todos os domínios. Se há algo que a história nos ensina é que mais conhecimento vem sempre a calhar. (J. CRONIN, físico)²⁹⁹

Os 35 países-membros da Organização ITER somam uma população de 3,7 bilhões (53% do total mundial) e um PIB de 52,7 trilhões de dólares estadunidenses (72,5% do total mundial). O PIB *per capita* médio é de quatorze mil dólares estadunidenses, com espectro que vai de países em desenvolvimento como Índia (1,5 mil) e China (6 mil) a países de alto desenvolvimento como Japão (46 mil) e EUA (52 mil)³⁰⁰. A produção de energia no grupo alcança sete

298 VARANDAS, Carlos, *op. cit.* Tradução do autor.

299 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 207. Tradução do autor. James Cronin, pesquisador e professor da Universidade de Chicago, recebeu o prêmio Nobel de física de 1980.

300 Valores para 2012. Dados do Banco Mundial. Disponível em: <databank.worldbank.org>.

bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), aproximadamente 53% do total mundial, e suas importações chegam a 2,1 bilhões de tep. A oferta interna de energia nos membros da OI-ITER é, portanto, de 9,1 bilhões de tep, o equivalente a 69% do total global. O índice agregado de dependência energética é de 23% e, assim como no caso do PIB *per capita*, registra forte variação entre os membros: da Rússia, único membro superavitário, à República da Coreia e ao Japão, com dependências da ordem de, respectivamente, 83% e 89%. O consumo de eletricidade no conjunto dos 35 países é de 15.190 TWh (74,4% do total mundial) e suas emissões de CO₂ chegam a 22,7 bilhões de toneladas (72% do mundo)³⁰¹.

A OI-ITER congrega, assim, pouco mais da metade da população mundial e cerca de três quartos do PIB, do consumo de eletricidade e das emissões de CO₂ no planeta. Em todas as Partes que firmaram o acordo constitutivo de 2006, as matrizes energética e elétrica são dominadas por fontes fósseis. No plano político, a Organização congrega os cinco membros permanentes do Conselho de Segurança das Nações Unidas e seis potências nuclearmente armadas. São fatos que ilustram a representatividade e a diversidade dos participantes do ITER, bem como ajudam a entender uma parte dos motivos de seu interesse em aplicar volume inédito de capital político, diplomático e financeiro na busca pela energia de fusão.

O mais superlativo de todos os índices na comparação com o total global, no entanto, é o da energia nuclear de fissão. O grupo de 35 países da OI-ITER responde por quase 90% da eletricidade global gerada em reatores nucleares, percentagem que só não é maior pela desativação de usinas japonesas na esteira da catástrofe de março de 2011³⁰². Todas as Partes do acordo de 2006 mantêm parques nucleoeletrônicos

301 Valores para 2011. Dados da Agência Internacional de Energia (2013 *Key World Energy Statistics*).

302 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Nuclear share figures, 2003-2013*, versão de junho de 2014. Disponível em: < www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/Nuclear-generation-by-country >.

(no caso da Euratom/Suíça, são 15 de 29 países) e ocupam posição de protagonismo tecnológico e industrial nesse mercado.

No presente capítulo, são individualmente analisadas as conjunturas que explicam a participação de Euratom/Suíça, China, Estados Unidos, Federação Russa, Índia, Japão e República da Coreia na Organização ITER, bem como a manutenção de programas domésticos e de cooperação internacional na área de fusão (há um quadro sinótico com estatísticas dos membros no anexo D). Serão apresentadas, ainda, as sete Agências Domésticas responsáveis pelas contribuições em espécie ao projeto de Cadarache. As atividades das duas organizações internacionais com unidades ou iniciativas dedicadas exclusivamente à fusão nuclear – a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a Agência Internacional de Energia (AIE, vinculada à OCDE) – também são aqui abordadas.

3.1. Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom)

A oferta interna de energia nos 29 países europeus que integram a OI-ITER (28 membros da UE e a Suíça) soma 1,78 bilhão de toneladas equivalentes de petróleo (13% no contexto global e 20% no contexto do ITER), com importações da ordem de 960 milhões de tep. O índice de dependência externa é, portanto, de aproximadamente 54% (superado no ITER apenas por Japão e República da Coreia). A geração total de eletricidade é de 3.359 TWh e o índice de consumo *per capita*, de 6,5 MWh, com grande variação entre os Estados-membros: dos 2,5 MWh/hab. na Romênia aos 15,7 MWh/hab. da Finlândia³⁰³.

A matriz energética total é dominada em 76% pelas fontes fósseis (35% petróleo, 24% gás natural e 17% carvão), seguidas pela fissão nuclear com 14% e pelas renováveis com 10% (6% biomassa, 2% hidráulica e 2% para eólica, solar e geotérmica). A matriz de

303 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 Key World Energy Statistics.

eletricidade também é dominada pelas fontes fósseis, mas em escala um pouco menor: 50% (26% carvão, 22% gás natural e 2% petróleo), com a fissão nuclear respondendo por 27%³⁰⁴ e as renováveis por 21% (hidráulica com 12%, eólica com 4%, biomassa com 4% e solar com 1%)³⁰⁵. As emissões de CO₂ do conjunto desses 29 países alcança 4,2 bilhões de toneladas (14% do total global)³⁰⁶.

Tendo em mente o quadro acima apresentado, a política energética da União Europeia é guiada por três objetivos fundamentais: i) a diminuição da dependência por energias fósseis e a consequente redução na emissão de gases do efeito estufa; ii) a diminuição da dependência por importações de energia; e iii) a manutenção da competitividade das empresas europeias no contexto internacional. A consecução desses objetivos passa pela implementação de planos como o SET-PLAN, que considera a tecnologia como peça essencial do “quebra-cabeça energético” das próximas décadas. O plano afirma que, agindo sozinhos, os Estados-membros da UE

*will have difficulty in creating the conditions necessary to allow industry to compete in global markets [since] the main global players, the United States and Japan, but also emerging economies such as China, India and Brazil, are facing the same challenges and are multiplying their efforts to develop and commercialise new energy technologies (grifo nosso)*³⁰⁷.

No caso da energia nuclear e, em especial, da energia de fusão, as atividades de pesquisa são responsabilidade formal não da União Europeia, mas da Comunidade Europeia de Energia Atômica (a CEEA ou, como é mais conhecida, a Euratom)³⁰⁸. Como se sabe, o processo

304 EURATOM e República da Coreia são as Partes com maior presença de energia nuclear de fissão nas matrizes total e de geração elétrica.

305 Dados para 2011 da COMISSÃO EUROPEIA. *2013 EU Energy in Figures*.

306 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *2013 Key World Energy Statistics*.

307 COMISSÃO EUROPEIA. *European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)*.

308 Telegrama 954, de 4 de setembro de 2013, da Delegação do Brasil junto à UE.

européu de integração teve início formal em 1952 com a instalação de uma organização internacional de caráter supranacional voltada justamente à energia, a Comunidade Europeia do Carvão e do Aço (CECA). Cinco anos depois, foram criadas a Comunidade Econômica Europeia (CEE) e a Euratom. De todas as “comunidades” originais, a única que continua a existir é precisamente a “atômica”, cujo tratado constitutivo praticamente não foi alterado pelas grandes reestruturações de 1986 (Ato Único Europeu), 1992 (Tratado de Maastricht), 1997 (Tratado de Amsterdam), 2001 (Tratado de Nice) e 2007 (Tratado de Lisboa). Somente o Tratado de Bruxelas (1965), conhecido como *Merger Treaty*, trouxe mudanças de real significado para o funcionamento da Euratom desde sua criação, ao unificar o Conselho e a Comissão Europeia para servir simultaneamente às três comunidades então existentes³⁰⁹.

Por ter preservado sua personalidade jurídica internacional e suas competências originais, cabe à Euratom o papel de Parte no acordo que estabeleceu a Organização ITER em 2006 e nos acordos bilaterais de cooperação, incluindo o firmado com o Brasil em 2009. A distinção entre UE e Euratom é quase uma filigrana jurídica e não tem maiores consequências práticas. Todas as atividades na área são autorizadas pelo Conselho da UE e executadas pela Comissão Europeia, seja pela DG de Pesquisa e Inovação (no caso da pesquisa e desenvolvimento em fusão e fissão), seja pela DG de Energia (caso da aplicação do regime de salvaguardas, do monitoramento do mercado de combustível pela agência ESA e da adoção de padrões mínimos de segurança nuclear dentro da União). Os orçamentos são, por sua vez, aprovados pelo Parlamento Europeu.

Nos planos originais de Jean Monnet e de Robert Schuman, a energia nuclear deveria desempenhar papel chave para a integração europeia não só no plano energético, mas também no industrial.

309 WOLF, Sebastian, *op. cit.*

No entanto, a Euratom jamais conseguiu corresponder plenamente às expectativas e, nas duas primeiras décadas de existência, foi pouco além de modestas atividades relacionadas à não proliferação (limitadas, diga-se, pelo *status* da França como potência nuclear) e de mecanismos de coordenação ou monitoramento³¹⁰. Por ironia, foi a prevalência desse quadro de poucas ambições e muitas limitações que tornou conveniente a sobrevivência da Euratom em 2007, sem que se promovesse sua incorporação pela UE. Por outro lado, a necessidade de conciliar inúmeras questões jurídicas, políticas, econômicas, administrativas e ou científico-tecnológicas acaba resultando em uma estrutura de governança complexa e, por vezes, confusa – com a sobreposição de programas e de orçamentos.

Por meio do projeto do Toroide Europeu Conjunto (JET) nos anos 1970, em plena crise dos choques do petróleo, a fusão nuclear começou a conquistar espaço privilegiado no pilar de pesquisa da Euratom. Depois do acordo teuto-britânico que permitiu a escolha de Culham como sede do laboratório (*vide* capítulo 1), o Conselho de Ministros das Comunidades Europeias aprovou, em 30 de maio de 1978, a criação do JET como um *Joint Undertaking*, formato supranacional previsto pela legislação comunitária “for the efficient execution of Union research, technological development and demonstration programmes”³¹¹. Em 2000, terminado seu prazo máximo de duração, o JET foi absorvido por uma nova estrutura: o Acordo Europeu para o Desenvolvimento da Fusão (EFDA), que havia sido criado no ano anterior a fim de racionalizar custos e integrar o projeto supranacional com os diferentes programas nacionais de energia de fusão, incluindo o da Suíça (na qualidade de Estado associado da Euratom desde 1979).

Em esforço adicional de racionalização administrativa e orçamentária, houve mais uma alteração em 2014, e o EFDA foi reformulado como consórcio responsável pela implementação do

310 D'ARCY, François. *União Europeia: instituições, políticas e desafios*, p. 36.

311 Artigo 187 do Tratado sobre Funcionamento da União Europeia, com redação dada pelo Tratado de Lisboa.

roadmap europeu da fusão e rebatizado como Eurofusion. Para o jurista Sebastian Wolf, todas essas iniciativas desde o JET promoveram uma “verdadeira ressurreição dos mitos fundadores da Euratom” e asseguraram ao lado europeu a liderança mundial na pesquisa em fusão nuclear, conquistando um papel que fora, no passado, dos EUA e da URSS³¹². Ademais, o caráter polêmico da fissão nuclear para alguns países (sobretudo Alemanha e Itália) fez da fusão uma espécie de “mínimo denominador comum” para as atividades supranacionais europeias nesse campo. O tema está entre as prioridades da política da União Europeia para ciência, tecnologia e inovação, com a meta final da criação conjunta de “prototype reactors for power stations to meet the needs of society: operational safety, environmental compatibility, economic viability”³¹³. O SET-PLAN, por exemplo, inclui a fusão na lista dos sete maiores desafios tecnológicos da Europa até 2050:

(i) bring the next generation of renewable energy technologies to market competitiveness; (ii) achieve a breakthrough in the cost-efficiency of energy storage technologies; (iii) develop the technologies and create the conditions to enable industry to commercialise hydrogen fuel cell vehicles; (iv) complete the preparations for the demonstration of a new generation (Gen-IV) of fission reactors for increased sustainability; (v) *complete the construction of the ITER fusion facility and ensure early industry participation in the preparation of demonstration actions*; (vi) elaborate alternative visions and transition strategies towards the development of the Trans-European energy networks and other systems necessary to support the low carbon economy of the future; (vii) achieve breakthroughs in enabling research for energy efficiency: e.g. materials, nano-science, information and communication technologies, bio-science and computation (grifo nosso)³¹⁴.

312 WOLF, Sebastian. *Integration durch Kernfusion? Zur Wiederbelebung der EURATOM-Gründungsmythen* (artigo).

313 COMISSÃO EUROPEIA. *ITER: Uniting science today global energy tomorrow*, p. 11.

314 *Id. European Strategic Energy Technology Plan (SET-Plan)*.

No presente, a coordenação central do programa europeu de fusão cabe à Direção de Energia da DG de Pesquisa e Inovação (RTD), que faz as vezes de organismo central da Euratom, sobretudo no que se refere à cooperação internacional. Com base nas decisões mais recentes do Parlamento, do Conselho e da Comissão Europeia, incluindo o novo plano orçamentário plurianual para 2014-2020, a oitava edição do programa-quadro de pesquisa e inovação (“Horizon 2020”) e o programa-quadro específico para a Euratom, as atividades do lado europeu em fusão nuclear passaram a ser concentradas em duas vertentes principais: a) o consórcio Eurofusion de centros de pesquisa e laboratórios nacionais, com um orçamento comunitário de cerca de setecentos milhões de euros para o período 2014-2018, dos quais 250 milhões apenas para a renovação e operação do JET, que continuará a ser o maior *tokamak* do mundo até a entrada em operação do ITER; b) a operação da Fusion for Energy (F4E), a Agência Doméstica da Euratom para o ITER, com previsão de orçamento de 2,7 bilhões de euros entre 2014 e 2020 – volume de recursos aprovado pelo Parlamento Europeu na rubrica “grandes projetos de infraestrutura”, depois de intenso debate político movido pela oposição da bancada verde³¹⁵.

A missão primordial da Eurofusion e da F4E é o desenvolvimento da energia de fusão como um programa clássico de arraste, com estreita articulação entre a esfera comunitária, os governos nacionais, os centros de pesquisa e as universidades e, em particular, o setor industrial. Depois de concluído o reator de Cadarache (nunca é demais recordar que o lado europeu, via F4E, responde por 5/11 de seu orçamento de construção), o foco das atenções europeias passará aos esforços da Eurofusion na implementação do *roadmap* que, se bem-sucedido, deverá resultar no primeiro reator nucleoeletrico de demonstração – o DEMO – até o ano de 2050. Esse próximo passo será

315 No orçamento anterior, para o período 2007-2011, o valor somado para a EFDA e a F4E foi bem inferior, da ordem de dois bilhões de euros, o que exigiu aportes complementares em 2011, retirados de outras rubricas orçamentárias, inclusive da Política Agrícola Comum. Na ocasião, a Comissão Europeia estabeleceu um teto de 6,6 bilhões de euros para o total de suas contribuições à construção do ITER.

tomado, portanto, fora do escopo da OI-ITER e não necessariamente será objeto de um esforço cooperativo internacional (embora seja essa a preferência declarada pela Euratom).

3.1.1. O caminho europeu (Eurofusion)

As atribuições principais da Eurofusion encontram-se na operação compartilhada do JET, na coordenação dos programas das entidades associadas, na promoção da graduação e pós-graduação em energia de fusão e, sobretudo, na implementação do plano previsto no documento “Fusion electricity: a roadmap to the realisation of fusion energy” (parte integrante do programa-quadro “Horizon 2020”).

Em relação às atividades anteriores a 2014, a diferença é que agora a Eurofusion receberá os recursos financeiros da Euratom (quatrocentos milhões de euros, já descontado o orçamento do JET) e os distribuirá diretamente às unidades de pesquisa de acordo com sua participação nos “pacotes” de implementação do *roadmap* (antes, a Euratom fazia essa distribuição por “contratos de associação”). As atividades de cooperação internacional extra-UE não serão afetadas pela criação do consórcio Eurofusion. Ao contrário, fizeram aumentar o interesse de Bruxelas por parcerias fora do contexto europeu – tal como a aberta com o Brasil pelo acordo de 2009³¹⁶.

O consórcio Eurofusion é atualmente integrado por entidades de 26 países da UE (Chipre e Luxemburgo são membros, mas não credenciaram centros de pesquisa) e da Suíça. Vale a pena elencar a lista para demonstrar a diversidade dos atores da fusão entre os diferentes países europeus, que oscilam entre órgãos comparáveis no Brasil ao MCTI, à CNEN, à Finep e à EPE, além das universidades: Alemanha (único país com três entidades: Instituto Max Planck para Física de Plasmas, Instituto de Tecnologia de Karlsruhe e Centro de Pesquisas

316 Entrevista do engenheiro Alejandro Zurita (Euratom) ao autor, 6 de maio de 2014.

de Jülich), Áustria (Academia Austríaca de Ciências), Bélgica (Laboratório de Plasmas da Escola Real Militar), Bulgária (Instituto de Pesquisa Nuclear), Croácia (Instituto Ruder Boskovic), Dinamarca (Universidade Técnica), Eslováquia (Universidade Comenius), Eslovênia (Instituto Jozef Stefan), Espanha (Centro de Pesquisa Energética, Ambiental e Tecnológica), Estônia (Universidade de Tartu), Finlândia (Fundo Finlandês de Tecnologia e Inovação), França (Comissão de Energia Atômica), Grécia (Hellas Fusion), Hungria (Academia de Ciências de Budapeste), Irlanda (Universidade de Dublin), Itália (ENEA), Letônia (Universidade de Riga), Lituânia (Instituto Lituano de Energia), Malta (Universidade de Malta), Países Baixos (Instituto Neerlandês de Pesquisa Energética), Polônia (Instituto de Física de Plasmas e de Microfusão a *Laser*), Portugal (Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa), Reino Unido (Centro de Culham para a Energia de Fusão, o anfitrião do JET), República Tcheca (Academia de Ciências de Praga), Romênia (Ministério da Educação e Pesquisa) e Suíça (Escola Politécnica Federal de Lausanne)³¹⁷.

No que se refere à pesquisa realizada em conjunto, o núcleo das atividades da Eurofusion encontra-se no Toroide Europeu Conjunto, o JET, inaugurado em Culham em 1984 e maior referência global em pesquisa na área de fusão nuclear (título que só deverá perder para Cadarache em 2020). O *tokamak* de Culham é um mini-ITER, com quinze metros de diâmetro, doze metros de altura e 32 bobinas de campo toroidal. Único reator experimental a ter produzido plasmas com o combustível deutério-trítio, o JET ostenta, ainda, o recorde mundial de potência térmica de fusão: 16 MWt por uma fração de segundo e 5 MWt em um pulso de cinco segundos – sempre sem balanço energético positivo (no caso do recorde de geração de 16 MWt, por exemplo, o *input* foi de 27 MW)³¹⁸. Na condição de principal satélite do ITER, o JET vem recebendo constantes *upgrades* e apresenta

317 Lista disponível no sítio da EFDA: <www.efda.org>.

318 REBUT, Paul-Henri, *op. cit.*

vários sistemas semelhantes aos do reator de Cadarache, como os equipamentos de manipulação remota e de aquecimento por radiofrequência³¹⁹. A continuidade de suas atividades foi assegurada pelos 250 milhões de euros autorizados pelo Parlamento Europeu, no marco do programa Euratom para o período 2014-2018.

Além do JET, o programa europeu abrange ampla gama de máquinas experimentais de médias ou pequenas dimensões, contribuindo para a exploração de alternativas dentro e fora do universo dos *tokamaks*. O alemão ASDEX, em Garching, faz pesquisa avançada na camada diversora e em cenários operacionais relacionados ao chamado modo-H de confinamento do plasma (sua grande descoberta na década de 1980). A Alemanha também desenvolve em Greifswald uma nova geração de *stellarators* (W7-X), a configuração inventada por Lyman Spitzer nos anos 1950 e que apresenta como vantagem a possibilidade de operação contínua (sem os pulsos que caracterizam o *tokamak*)³²⁰. A francesa CEA mantém em Cadarache, ao lado do ITER, o TORE SUPRA, pioneiro no uso de bobinas supercondutoras. A italiana ENEA opera o compacto FTU, especializado em campos magnéticos intensos e em plasmas de alta densidade, e o RFX, de *pinch* reverso. A linha de *tokamaks* esféricos é mantida pela República Tcheca, com o COMPASS em Praga, e pelo Reino Unido, com o MAST, experimento situado ao lado do JET em Culham. Em Portugal, o Instituto Superior Técnico de Lisboa responde pelo ISTTOK, voltado a diagnósticos e à pesquisa fundamental de física de plasmas. São apenas alguns dos exemplos da pesquisa complementar ou alternativa ao ITER na União Europeia³²¹.

Com base na experiência do ITER, do JET e de sua extensa rede de centros associados, caberá à Eurofusion a crucial tarefa de implementar

319 COMISSÃO EUROPEIA. *ITER: Uniting science today global energy tomorrow*, p. 12.

320 *Id. Investigação em fusão: uma opção energética para o futuro da Europa*, p. 26.

321 Entrevista do físico português Carlos Varandas ao sítio do EFDA, 22 de março de 2007. A Eurofusion não abrange a rota do confinamento inercial por *laser*, que, na União Europeia, é desenvolvida principalmente pela França com objetivos duais.

o *roadmap* europeu da energia de fusão – documento elaborado em 2012, pelo então EFDA, com as diretrizes para o desenvolvimento de um primeiro reator nucleoeletrico de demonstração (DEMO). De acordo com a nova estratégia europeia, o DEMO deverá estar pronto antes de 2050 e ser capaz de produzir eletricidade “at the level of a few hundred MWs”, gerar seu próprio trítio em um ciclo fechado de combustível e demonstrar todas as tecnologias necessárias a um reator comercial de fusão, incluindo um fator de capacidade “adequado”. Para que essa meta seja atingida, o projeto desse reator de demonstração terá de ser definido ao longo da década de 2020 e sua construção iniciada em 2030³²².

O lado europeu acredita que esse cronograma 2020-2050 é factível desde que o ITER seja construído no prazo e orçamento acordados e seu potencial de inovação seja completamente explorado. Para o DEMO, no entanto, defende-se “abordagem mais pragmática”, que reconheça a necessidade de substituir o “ideal” pelo “possível” (segundo o documento, “to design DEMO on the basis of the ultimate technical solutions in each area would postpone the realisation of fusion indefinitely”). A Euratom advoga, portanto, a adoção de soluções técnicas “simples e robustas”, extrapoladas do ITER sempre que possível e, quando isso não for possível, desenvolvidas diretamente para o programa do reator de demonstração. Dessa forma, ficariam para uma segunda etapa aquelas tecnologias avançadas “desejáveis” para um reator comercial que não consigam “amadurecer” em tempo para utilização no DEMO. Nesse marco de pragmatismo, as inovações exigidas pelo projeto dependerão de cooperação ainda mais estreita entre os centros de pesquisa e a indústria, desde os fabricantes dos componentes até as companhias de geração de eletricidade³²³. Tal como sublinha o documento da EFDA/Eurofusion,

322 ACORDO EUROPEU PARA O DESENVOLVIMENTO DA FUSÃO (EFDA). *Fusion Electricity: a roadmap to the realisation of fusion energy*, p. 11.

323 *Ibid.*, p. 12

the evolution of the programme requires that industry progressively shifts its role from that of provider of high-tech components to that of driver of fusion development [and] must be able to take full responsibility for the commercial fusion power plant after successful DEMO operation³²⁴.

O programa europeu evoluirá, assim, de uma perspectiva centrada nos laboratórios para a de um empreendimento orientado à indústria e à tecnologia.

O *roadmap* europeu lista os sete desafios concretos que deverão concentrar as ações da Eurofusion para a viabilização do reator de demonstração: i) regimes de operação de plasma; ii) sistemas de refrigeração e exaustão de calor; iii) materiais ultrarresistentes; iv) autossuficiência do trítio; v) aperfeiçoamento da segurança passiva; vi) integração de sistemas; e vii) otimização econômica (isto é, redução dos custos de capital e aumento do fator de capacidade)³²⁵. Cada desafio comporta análise específica – incluindo sugestão de mitigação de riscos – a respeito das soluções que existem, das que deverão existir (graças ao ITER, ao JET e aos demais satélites) e das que ainda dependerão de esforços adicionais de pesquisa, desenvolvimento e inovação.

A estratégia europeia prevê três etapas: a primeira, o “Horizonte 2020” (2014-2020), tem como metas principais a conclusão exitosa da construção e montagem do ITER e a implantação do consórcio Eurofusion; a segunda (2021-2030) prevê a exploração do ITER e a elaboração dos projetos conceitual e de engenharia do DEMO; e a terceira (2031-2050) corresponde à exploração final do ITER e à construção e operação do DEMO. A previsão orçamentária para a implementação do *roadmap* vai até a segunda etapa (embora os recursos só estejam oficialmente garantidos até 2018): o orçamento anual no período

324 *Ibid.*, p. 2

325 *Ibid.*, p. 15-16. O *roadmap* também lista como desafio o desenvolvimento do novo *stellarator*, mas sem qualquer relação direta com o DEMO baseado no conceito *tokamak*.

2014-2018 será de cerca de 150 milhões de euros; o 2019-2020, de 190 milhões de euros; e o 2021-2030, de 210 milhões de euros³²⁶.

Além da dimensão técnica e orçamentária, o *roadmap* prevê prioridade para o tema da educação. Conforme aponta o documento, a energia de fusão vive uma transição da pesquisa fundamental para a aplicação prática e demanda, com urgência, programas de estímulo à formação e qualificação de cientistas e engenheiros especializados – a chamada “geração ITER”. Assim, a Eurofusion deverá destinar cerca de 25 milhões de euros/ano apenas às atividades de educação e treinamento. Conforme aponta o *roadmap*, “a healthy system should aim in the long term at some 300 PhD students and an equivalent number of engineers (either PhD students or trainees) active in fusion, with an appropriate spread over topics in fusion engineering and physics”³²⁷.

A estratégia europeia valoriza, ainda, a dimensão da cooperação internacional extra-UE e prevê busca ativa de todas as parcerias possíveis, dentro e fora do ITER. A “Abordagem Ampla” com o Japão, que será tratada em maior detalhe no próximo capítulo, é considerada prioritária, pois abrange questões essenciais para o próximo passo, como os testes de materiais ultrarresistentes e o próprio projeto conceitual do reator de demonstração. Com os demais membros do ITER, as perspectivas de colaboração para a concepção e construção do DEMO parecem menos promissoras, pois, como ilustra o documento do *roadmap* europeu ao citar o caso da camada fértil, a possibilidade de cooperação e compartilhamento de informações depende da inequívoca identificação de ganhos concretos para os lados envolvidos – algo difícil de garantir com antecedência nesse domínio.

Na esfera extra-ITER, a Euratom mantém acordos bilaterais sobre fusão nuclear com apenas três países: a Ucrânia (2002), o

326 *Ibid.* p. 54-55.

327 *Ibid.* p. 41. A EURATOM mantém desde 2010 uma rede de universidades e centros tecnológicos dedicada exclusivamente à fusão, a FUSENET (*European Fusion Education Network*).

Cazaquistão (2004) e o Brasil (2009), que se destaca, assim, como o único país do Hemisfério Sul nessa listagem sobre energia de fusão³²⁸. Ao oferecer apoio à formação de recursos humanos e acesso à rede de centros da Eurofusion (em especial ao JET), o lado europeu espera ampliar a massa crítica global de pesquisa em fusão e, sempre que possível, identificar parceiros interessados em arcar com parcela dos custos de desenvolvimento do DEMO – pontos que serão tratados com maior detalhe na seção sobre a cooperação Brasil-Euratom. Tal como deixa muito claro o *roadmap*, a intenção do lado europeu é de continuar como líder mundial incontestemente da energia nuclear de fusão³²⁹.

3.1.2. Fusion for Energy (F4E)

A Fusion for Energy (F4E) é a Agência Doméstica da Euratom, nos termos do artigo 8º, parágrafo 4º, do acordo constitutivo da OI-ITER, criada com a missão de providenciar as contribuições *in kind* à Organização e executar os arranjos licitatórios por ela atribuídos ao lado europeu. Como a quota da Euratom na fase de construção do ITER é de 5/11, não seria exagero dizer que a F4E é o verdadeiro pilar de sustentação do reator de Cadarache (aliás, não só no sentido figurado, pois coube à AD europeia a contratação de todas as obras de engenharia civil e de infraestrutura básica das instalações do *tokamak*).

A F4E foi criada por uma decisão do Conselho da UE de 27 de março de 2007 no formato de um *Joint Undertaking* – o mesmo conceito jurídico utilizado em 1978 para o estabelecimento do JET. Com o nome oficial de “European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy”, a agência tem sede em Barcelona e deverá funcionar por um período de 35 anos (com a possibilidade de

328 Informação da DG-RTD sobre “EURATOM legal pillars and agreements”. Disponível em: <ec.europa.eu/research/energy/euratom>.

329 ACORDO EUROPEU PARA O DESENVOLVIMENTO DA FUSÃO (EFDA), *op. cit.*, p. 47.

prorrogação, pois a F4E acompanhará a existência da OI-ITER, que, como vimos, poderá ser estendida até 2052)³³⁰.

Os participantes da Fusion for Energy são a Euratom (representada pela Comissão Europeia), os Estados-membros da Euratom e os terceiros países que tenham assinado acordo de cooperação bilateral na área de energia de fusão e que tenham manifestado interesse em participar da iniciativa (a Suíça é o único país que se encaixa nessa categoria). Sua estrutura inclui: i) o Conselho de Administração, composto por dois representantes de cada membro; ii) o Comitê Executivo e o Painel Assessor Técnico, cada um composto por treze especialistas em assuntos científicos, tecnológicos e financeiros; e iii) o diretor da F4E e sua equipe (cerca de 340 funcionários), que têm a atribuição executiva de providenciar e supervisionar o fornecimento da quota europeia de recursos materiais, financeiros e humanos à Organização ITER³³¹. A tarefa de coordenação entre as ações da F4E e da Eurofusion é feita basicamente por meio da Comissão Europeia e, dentro da Direção de Energia da Direção-Geral de Pesquisa e Inovação, existem duas seções específicas para servir de interface às duas principais vertentes do programa europeu.

A Euratom responde pela quase totalidade do orçamento da F4E, que, de acordo com decisão do Conselho da UE, não deverá ultrapassar o valor total de 6,6 bilhões de euros na fase de construção do ITER³³². Para o período 2014-2020, segundo aprovado no plano orçamentário plurianual da União Europeia, a F4E contará com um volume total de 2,7 bilhões de euros. Com base no sistema de contribuições *in kind* da OI-ITER, esses valores serão majoritariamente gastos na contratação de bens e serviços no território da UE, com alto índice de participação

330 "COUNCIL DECISION of 27 March 2007 establishing the European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy and conferring advantages upon it (2007/198/EURATOM)". Disponível em: <f4e.europa.eu/downloads>. A F4E é também responsável pela execução do acordo EURATOM-Japão de "Abordagem Ampla".

331 *Ibid.*

332 "COUNCIL DECISION of 13 December 2013 amending Decision 2007/198/EURATOM establishing the European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy and conferring advantages upon it (2013/791/EURATOM)". Disponível em: <f4e.europa.eu/downloads>.

de pequenas e médias empresas. Cerca de 350 contratos já foram firmados com empresas, universidades e laboratórios de dezenove países europeus (Áustria, Alemanha, Bélgica, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Lituânia, Países Baixos, Reino Unido, República Tcheca, Polônia, Romênia, Portugal, Suécia, Suíça)³³³. Os principais arranjos licitatórios alocados à F4E incluem: o cabeamento de nove das dezoito bobinas supercondutoras de campo toroidal e de cinco das seis bobinas de campo poloidal; sete setores da câmara de vácuo; metade dos módulos de blindagem; as partes principais da camada de divisores e dos mecanismos de manipulação remota; e as citadas obras de engenharia civil e de infraestrutura básica, incluindo a construção do prédio da sede da OI-ITER, projeto dos arquitetos franceses Laurent Bonhomme e Rudy Ricciotti³³⁴.

Em linhas gerais, as regras de licitações e concessões da Fusion for Energy seguem a legislação comunitária, com a grande diferença de que apenas nacionais europeus ou empresas e centros instalados no território da União Europeia podem participar³³⁵. As peculiaridades desse sistema tornam impossível precisar o volume de investimentos em cada país, mas, com base em seus relatórios anuais, é possível verificar um predomínio da França, consequência natural de sua condição de país anfitrião do ITER, seguida por Alemanha, Reino Unido e Itália³³⁶. A fim de facilitar os contatos com o setor privado, a F4E mantém na internet o “Industry and Fusion Laboratories Portal”, que serve como *one-stop shop* aos interessados nos arranjos licitatórios para o ITER.

333 ORGANIZAÇÃO ITER. Relatório Anual para 2012.

334 “ITER Newslines”, 23 de abril de 2010.

335 HOBE, Stephan et al. *A coherent European procurement law and policy for the space sector*, p. 239-240. A exceção está na parcela de 1/11 realocada ao Japão com base no acerto nipo-europeu de junho de 2005.

336 *Vide* Relatórios da Fusion Energy no período 2009-2012.

3.2. China

A China é desde 2010 o maior consumidor de energia no planeta. A oferta interna nesse país alcança 2,8 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (21% no contexto global e 31% no contexto do ITER), com importações da ordem de 378 milhões de tep. O índice chinês de dependência externa é, portanto, de 13% (o mais baixo entre os membros da OI-ITER que são importadores líquidos de energia). A geração de eletricidade chega a 4.433 TWh, com um índice de consumo *per capita* de 3,3 MWh, superior no ITER somente ao consumo *per capita* indiano³³⁷.

A matriz energética chinesa é dominada em 91% pelas fontes fósseis (69% carvão, 18% petróleo e 4% gás natural), seguidas pela hidráulica com 6% e pela fissão nuclear com 1%. A matriz de eletricidade é igualmente dominada pelas fontes fósseis com 71% (66% carvão, 3% gás natural e 2% petróleo), seguidas pelas renováveis com 27% (22% hidráulica e 5% energia eólica) e pela fissão nuclear com 2%³³⁸. A China ocupa, assim, o segundo lugar no *ranking* dos membros da Organização ITER com maior dependência de fontes fósseis, sobretudo carvão (o Japão é o líder). As emissões chinesas de CO₂ são hoje as maiores do mundo e superam os 7,9 bilhões de toneladas (25% do total global), mas, em termos *per capita*, correspondem a apenas um terço das emissões estadunidenses³³⁹.

Em consequência da ênfase dada à eficiência energética pelas autoridades de Pequim, o ritmo do crescimento da demanda por energia (média de 6,5% entre 1990 e 2010) tem sido consistentemente inferior ao do crescimento econômico chinês (média superior a 10% nesse mesmo período). A tendência de redução da intensidade energética da economia chinesa (relação PIB/consumo de energia)

337 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*.

338 Dados para 2011 da EIA (Departamento de Energia dos EUA).

339 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*.

deverá prosseguir nos próximos anos. Ainda assim, de acordo com o “BP Energy Outlook 2035”, a previsão é de que a China se transforme, nos próximos vinte anos, no maior importador líquido de energia, aumentando sua dependência externa do atual patamar de 13% para quase 20%. O peso do carvão na matriz chinesa deve diminuir de 69% para 52%, mas, com o aumento do consumo de gás natural, as fontes fósseis continuarão a prevalecer (oscilação de 91% no presente para 82% em 2035). As emissões de CO₂ deverão crescer 47% nesse mesmo período, o que levará o índice *per capita* chinês a superar o dos países da OCDE³⁴⁰.

A política energética da China é dominada, portanto, por duas considerações centrais: a garantia da segurança energética (pressuposto do contínuo crescimento econômico chinês) e a “descarbonização” da matriz, com a diminuição do desproporcional peso do carvão. Assim, além das energias renováveis (sobretudo as fontes hidráulica e eólica), o planejamento estatal chinês concede prioridade à energia nuclear de fissão, que deverá alcançar a meta de cerca de 6% da matriz elétrica do país até 2035. Esse crescimento exigirá a construção de ao menos 140 novas usinas nucleares, uma média de sete ao ano³⁴¹, número que já leva em conta a pequena desaceleração do programa chinês depois do acidente de Fukushima em 2011. Nesse mesmo ano, relatório do Instituto de Pesquisa do Conselho de Estado (SCRO) enfatizou a importância do desenvolvimento das novas gerações de reatores nucleares e mencionou a fusão nuclear como alternativa desejável para o período pós-2070, quando os reatores construídos na fase de expansão das próximas duas décadas terão de ser descomissionados³⁴².

340 BP. “BP Energy Outlook 2035 China”. Disponível em: <www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook>.

341 Serão quase todas de tecnologia chinesa. A Companhia Estatal de Tecnologia de Energia Nuclear (SNPTC) desenvolveu o modelo CAP 1400, baseado no nipoestadunidense AP 1000 (da Westinghouse), pensando não só no mercado chinês, mas também no internacional.

342 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Country Profile China*. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles>.

Vale sublinhar que a China possui pequenas reservas economicamente viáveis de urânio, que são insuficientes para esses robustos planos de crescimento. A fissão pode constituir alternativa interessante, sobretudo em escala que justifique o reprocessamento de combustível nuclear, mas não chega a encaminhar adequadamente o desafio da dependência energética externa – daí a importância atribuída a tecnologias como a fusão.

Em 2003, essas necessidades de longuíssimo prazo já eram suficientemente claras para justificar o ingresso da China no Projeto ITER. A decisão foi tomada, no entanto, com dois objetivos mais imediatos de sua diplomacia científico-tecnológica: i) criar oportunidades de arraste para a indústria chinesa de alta tecnologia; e ii) utilizar a cooperação internacional para impulsionar o programa doméstico de pesquisa em fusão por confinamento magnético (criado em 1965, mas que só passaria a receber de Pequim a devida atenção trinta anos mais tarde)³⁴³.

As atividades chinesas na área envolvem grande número de atores estatais e paraestatais, em estrutura complexa e, por vezes, com sobreposição de iniciativas. Além do Ministério da Ciência e Tecnologia (MOST), ao qual está vinculado o Centro de Execução do Programa Internacional de Energia Nuclear de Fusão da China (CINFEPEC, a Agência Doméstica chinesa para o ITER), participam do programa chinês de fusão, em maior ou menor escala, a poderosa Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (NRDC), o Ministério da Educação (MOE), a Academia de Ciências da China (CAS) e a Empresa Nacional Nuclear Chinesa (CNNC). Enquanto as ações do MOST limitam-se ao ITER, os demais órgãos já se dedicam à elaboração do *roadmap* chinês para o desenvolvimento de reatores comerciais de fusão no horizonte pós-2050³⁴⁴.

343 A iniciativa chinesa de fusão por confinamento inercial a *laser*, vinculada ao programa militar de explosivos termonucleares, não será aqui tratada, em virtude da inexistência de vínculos formais ou informais com o programa civil de confinamento magnético.

344 YE, Minyou. *Status of design and strategy for CFETR* (apresentação).

3.2.1. O caminho chinês (NRDC, MOE, CAS e CNNC)

O governo chinês criou em 1965 o Instituto de Física do Sudoeste (SWIP), sediado em Chengdu, com o objetivo de iniciar a pesquisa doméstica em confinamento magnético. Depois de algumas tentativas iniciais com *stellarators* e máquinas *pinch*, o SWIP levou vinte anos para render-se à era dos *tokamaks* e inaugurar o pequeno HL-1, um projeto nacional. Como resultado de cooperação com o Instituto Max Planck da Alemanha, máquina mais avançada entraria em operação em 2002 (o HL-2, que tem prevista uma atualização em 2015). O SWIP é diretamente vinculado à empresa estatal CNNC, importante ator industrial que ambiciona papel de protagonismo na presente fase de transição da pesquisa à aplicação prática da fusão nuclear.

Em 1978, a Academia de Ciências da China (CAS) estabeleceu em Hefei o Instituto de Física de Plasmas (ASIPP), voltado desde o início à pesquisa com *tokamaks*. No presente, o ASIPP opera o *Tokamak* Supercondutor Experimental Avançado (EAST), que, como o nome indica, tem campos magnéticos gerados por bobinas supercondutoras e é um dos maiores reatores experimentais no continente asiático. Trata-se de um projeto de tecnologia majoritariamente chinesa, construído em menos de seis anos ao custo de trinta milhões de dólares estadunidenses. O EAST integra a rede de satélites para experimentos complementares ao ITER³⁴⁵.

A experiência com os *tokamaks* de Chengdu e Hefei deverá convergir para um novo projeto, o Reator Teste de Engenharia de Fusão da China (CFETR). Em 2011, a NRDC criou grupo de trabalho com a incumbência de elaborar os projetos conceitual e de engenharia do CFETR, que deverá servir como marco inicial do *roadmap* chinês para um reator comercial de fusão. Os projetos deverão estar prontos em 2015, em tempo de inclusão no próximo plano quinquenal de ciência e tecnologia. Espera-se que o reator experimental entre em

345 LI, J. *Present Magnetic Confinement Fusion Activities and Future Roadmap in China* (apresentação).

operação até 2025 e que, doze anos depois, alcance a potência térmica de 1 GWt com ciclo fechado de combustível (ou seja, o trítio deverá ser produzido *in situ*). O CFETR deverá abrir o caminho para um DEMO chinês em 2045 e uma usina comercial a partir de 2055³⁴⁶.

A estratégia chinesa inclui iniciativa de formação e aperfeiçoamento de profissionais especializados em energia de fusão, coordenada pelo Ministério da Educação (MOE). No presente, a China conta com dez entidades de ensino superior diretamente envolvidas no programa doméstico de fusão nuclear, entre as quais as Universidades de Pequim, Tsinghua, Dalian, Shanghai Jiaotong e Zhejiang. Em parceria com o Ministério da Ciência e Tecnologia, o MOE mantém, ainda, programa de bolsas internacionais de fusão, sobretudo em parcerias com as universidades europeias associadas à EFDA/Eurofusion. A Universidade Chinesa de Ciência e Tecnologia (USTC), vinculada à CAS, abriu a primeira faculdade dedicada integralmente à energia nuclear, a Escola de Ciência e Tecnologia Nuclear (SNST), com *campus* em Hefei. A SNST tem formado cerca de cem estudantes de graduação e mais de cem de pós-graduação por ano. A energia de fusão ocupa posição de destaque no currículo acadêmico da instituição³⁴⁷.

O envolvimento de entidades como a NRDC, o MOE, a CAS e a CNNC constitui perfeita ilustração das bases do caminho chinês para a energia de fusão: planejamento, educação, pesquisa, inovação e cooperação internacional.

3.2.2. CINFEPPEC/Ministério da Ciência e Tecnologia

O Centro de Execução do Programa Internacional de Energia Nuclear de Fusão da China (CINFEPPEC) foi criado em outubro de 2008 como a Agência Doméstica chinesa para a Organização ITER. Vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MOST) e sediado

³⁴⁶ *Ibid.*

³⁴⁷ *Ibid.*

em Pequim, o CINFEPPEC é responsável por todas as contribuições chinesas à Organização ITER e pela coordenação das atividades dos demais atores locais (NDRC, CAS, universidades e centros de pesquisa), sempre que relacionadas ao reator de Cadarache³⁴⁸.

A estrutura do CINFEPPEC inclui um diretor, nomeado pelo MOST, e cinco divisões: i) gestão do projeto; ii) gestão de engenharia; iii) pesquisa e desenvolvimento em fusão nuclear; iv) cooperação internacional; e v) administração. As duas primeiras são as responsáveis pela implementação dos arranjos licitatórios atribuídos pela Organização à China. A terceira coordena a participação dos centros de Hefei (ASIPP) e Chengdu (SWIP) no ITER, incluindo as pesquisas complementares nos *tokamaks* EAST e HL-2³⁴⁹.

Com base na partilha de custos do ITER, o orçamento total do CINFEPPEC será de 427 mil IUAs – valor que, em especial no caso chinês, é de difícil conversão para outras moedas. É possível estimar, no entanto, que empresas chinesas receberão até o final desta década contratos da ordem de setecentos a oitocentos milhões de dólares estadunidenses. Os principais arranjos alocados à China incluíram os seguintes componentes do reator: sistema magnético (100% dos suportes de bobinas, das bobinas corretoras e dos alimentadores elétricos; 69% dos fios supercondutores das bobinas de campo poloidal; e 7% dos fios das bobinas de campo toroidal), módulos de blindagem (40%), válvulas de injeção de combustível (88%), portas do mecanismo de manipulação remota (50%) e uma pequena parcela dos sistemas de diagnósticos (pouco mais de 3%)³⁵⁰. Até 2012, o CINFEPPEC havia assinado 39 contratos com empresas e centros de pesquisa em dezessete províncias chinesas, incluindo o contrato para operação do teste chinês para a camada fértil³⁵¹. Vale recordar que, embora sem

348 “ITER Newslin”, 9 de outubro de 2009.

349 Sítio do CINFEPPEC na internet. Disponível em: <www.iterchina.cn>.

350 ORGANIZAÇÃO ITER. *Common Understandings on Procurement Allocation*.

351 *Id.* Relatório Anual para 2012.

vínculo imediato com o ITER, o interesse da China pelo nióbio – para ligas de aço e também para supercondutores – justificou a aquisição de 15% do capital da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), responsável por mais de 80% da produção mundial do metal.

À exceção da área educacional, que compete ao MOE, a cooperação internacional chinesa em fusão nuclear é atribuição do MOST e do CINFEPEC, e tem sido restrita aos países-membros da OI-ITER. O Ministério dos Negócios Estrangeiros (Waijiaobu) participa de todas as decisões sobre o tema. Com a Euratom, a China negocia acordo bilateral específico que poderá prever participação, inclusive financeira, no JET. Com base em acordo bilateral genérico de energia nuclear, de 2008, o MOST e a DG de Pesquisa e Inovação da Comissão Europeia reúnem-se periodicamente no âmbito de um subgrupo de energia de fusão. O lado chinês mantém, ainda, mecanismos de diálogo e cooperação com os Estados Unidos, com a República da Coreia e com o Japão. Em janeiro de 2013, o CINFEPEC aderiu à iniciativa tecnológica da Agência Internacional de Energia (AIE) para cooperação em grandes *tokamaks*³⁵².

3.3. Estados Unidos

Por ocasião da assinatura do acordo constitutivo da OI-ITER, em 2006, os EUA eram o maior consumidor mundial de energia. No momento, o país ocupa a segunda posição com uma oferta interna de 2,2 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (17% no contexto global e 25% no contexto do ITER) e importações da ordem de 457 milhões de tep. O índice de dependência externa dos EUA é, portanto, de 20% (inferior ao de Índia, Euratom, República da Coreia e Japão). A geração de eletricidade é de 4.127 TWh, com um índice de consumo *per capita* de 13,2 MWh, o mais alto entre os membros da Organização³⁵³.

352 Sítio do CINFEPEC na internet. Disponível em: <www.iterchina.cn>.

353 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*.

A matriz energética dos EUA é dominada em 82% pelas fontes fósseis (36% petróleo, 27% gás natural e 18% carvão), seguidas pelas renováveis com 9% (6% hidráulica, 2% eólica e 1% biocombustíveis) e pela fissão nuclear com 8%. A matriz de eletricidade é igualmente dominada pelas fontes fósseis, com 68% (39% carvão, 28% gás natural e 1% petróleo), seguidas pela fissão nuclear com 19% e pelas renováveis com 12% (7% hidroeletricidade, 4% eólica e 1% biomassa)³⁵⁴. As emissões estadunidenses de CO₂ chegam a 5,9 bilhões de toneladas (17% do total global), o que faz dos EUA o membro do ITER com o maior índice de emissão *per capita*: 16,8 toneladas por habitante (onze vezes superior à emissão *per capita* da Índia e três vezes à da China)³⁵⁵.

Desde o primeiro choque do petróleo, em 1973, a questão da segurança energética e da diminuição da dependência externa tornou-se prioritária para os governos dos EUA. Como vimos no capítulo 1, a década de 1970 foi o marco inicial dos maciços investimentos de Washington na pesquisa em fusão, que passaram de uma média de 25 milhões de dólares/ano na gestão de Richard Nixon (1969-1974) para um patamar de 350 milhões de dólares/ano na gestão Jimmy Carter (1977-1981). Nos quatro primeiros anos da administração de Ronald Reagan, esse volume alcançaria a média recorde de 450 milhões. Em 1985, ano da Cúpula URSS-EUA que marcou o início do Projeto ITER, o investimento estadunidense em fusão nuclear foi de 470 milhões de dólares. Em curva quase paralela à dos preços do petróleo, no entanto, as verbas públicas caíram para trezentos milhões no segundo mandato Reagan. A gestão Clinton (1993-2001) diminuiu ainda mais o orçamento de pesquisa em fusão, deixando-o em patamar inferior a duzentos milhões de dólares ao ano³⁵⁶.

Pioneiros na energia nuclear de fissão e de fusão para fins explosivos e não explosivos (graças a nomes como Robert Oppenheimer,

354 DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *Annual Energy Outlook 2014* (Dados para 2012).

355 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *2013 Key World Energy Statistics*.

356 WILLIS, John. *Bringing a star to Earth* (apresentação).

Edward Teller, Hyman Rickover e Lyman Spitzer) e potência hegemônica desde o fim da Guerra Fria, os Estados Unidos terminaram o século XX fora do ITER não por objeções estratégicas a esforços cooperativos globais, mas por prosaicas razões políticas e orçamentárias. Em 1998, sem apoio no Congresso, o programa de fusão sofreu severo corte, obrigando o Executivo a formalizar, no ano seguinte, a saída dos EUA do projeto do reator internacional. O regresso em 2003 foi consequência das conveniências político-diplomáticas da administração de George W. Bush, interessada no capital “multilateral” do ITER em meio à Guerra do Iraque, e do *lobby* conjunto de engenheiros, cientistas e empresários, que decidiram encampar o projeto para pressionar o Congresso estadunidense por maiores verbas para as atividades de fusão nuclear do Departamento de Energia (DOE). Pesaram também considerações relativas ao prestígio científico e tecnológico do país, interessado em recuperar a liderança perdida na área para o lado europeu.

Em virtude dos compromissos assumidos perante a recém-criada OI-ITER, os recursos à pesquisa e desenvolvimento em fusão nos EUA saltaram de cerca de 250 milhões em 2005 para quase 500 milhões de dólares em 2014³⁵⁷, ainda que crises políticas semelhantes à de 1998 tenham voltado a ocorrer em pelo menos duas outras oportunidades³⁵⁸. A mais recente delas, ainda não resolvida, foi consequência direta da repercussão do relatório de William Madia sobre a qualidade da gestão da OI-ITER (vide seção 2.3). Em audiência pública do Secretário de Energia, Ernest Moniz, no Congresso, realizada em 9 de abril de 2014, a Senadora democrata Dianne Feinstein fez críticas severas ao *modus operandi* da Organização e afirmou acreditar que o envolvimento dos EUA no projeto “is not practical and maybe

357 Série histórica de solicitações orçamentárias do programa de fusão do Departamento de Energia. Disponível em: <science.energy.gov/fes/about/fes-budget>.

358 CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA DOS EUA. *A review of the DOE plan for US fusion community participation in the ITER program*, p. 8-9.

the money would be better spent elsewhere”³⁵⁹. Bom exemplo do “elsewhere” havia sido dado alguns meses antes em articulação liderada pela também democrata Elizabeth Warren, que logrou retirar cerca de 25 milhões de dólares da contribuição estadunidense ao ITER para garantir a sobrevivência do Alcator C-MOD, o *tokamak* do Massachusetts Institute of Technology (MIT), que havia sido eliminado da previsão orçamentária do Departamento de Energia³⁶⁰.

O embate entre o Executivo e o Legislativo tende a continuar, pois, ao aprovar o orçamento do DOE para 2015, o Senado ameaçou com nova retirada do ITER, desta vez sem possibilidade de retorno³⁶¹. Para o novo presidente do Conselho da OI-ITER, o estadunidense Robert Iotti, escolhido precisamente para melhorar o relacionamento da Organização com a classe política em Washington, tudo seria um “jogo de cena” para agilizar a reforma administrativa e forçar a saída de Osamu Motojima do cargo de diretor-geral – o que se confirmou em março de 2015 com a nomeação de Bernard Bigot. O DOE não tem poupado esforços para abafar a crise, mas o fato é que já são inevitáveis os danos à confiabilidade da participação de Washington no projeto³⁶². Em virtude da conhecida *pork barrel politics* de seu Legislativo, os Estados Unidos transformaram-se no *sick man* da Organização, que, caso o pior cenário se confirme, terá de lidar com novos atrasos e, ainda pior, renegociar a partilha de custos entre os demais membros. De todo modo, com quase 80% dos componentes já contratados pelo DOE, o maior prejuízo seria dos estadunidenses, que ficariam excluídos da operação do ITER.

359 Audiência Pública do Secretário de Energia, Ernest Moniz, no Congresso Nacional dos EUA. Vídeo disponível em: <www.c-span.org/video/fy2015-energy-water-budget>. Curiosamente, a gravação dessa audiência refere-se ao ITER como *eater*, apelido irônico dado por alguns políticos e gestores estadunidenses por sua tendência a “devorar” os demais orçamentos do DOE.

360 “Boston Globe”, 8 de junho de 2014.

361 Revista “Science”, 2 de julho de 2014.

362 Revista “Physics Today”, junho de 2014.

3.3.1. Projeto US-ITER/Departamento de Energia

Apesar das dificuldades políticas e orçamentárias, os Estados Unidos contam com uma das estruturas mais diretas e transparentes para coordenar sua participação na OI-ITER, totalmente integrada aos esforços locais em fusão nuclear por confinamento magnético. A Agência Doméstica estadunidense (*US-ITER Project*) é uma unidade administrativa vinculada diretamente ao Departamento de Energia e, mais especificamente, à FES (Divisão de Ciências da Energia de Fusão). A FES é responsável pela coordenação e distribuição das verbas federais na área, incluindo os *procurement arrangements* do ITER. Esses valores não incluem, no entanto, o programa de confinamento inercial a *laser* da Instalação Nacional de Ignição (NIF), que, embora conduzido por centro vinculado ao DOE (o Laboratório Nacional Lawrence de Livermore, Califórnia), é mantido por recursos do orçamento militar. O Departamento de Energia conta, ainda, com o assessoramento do *Fusion Energy Sciences Advisory Committee* (FESAC), integrado por representantes da academia e da indústria³⁶³.

A rede estadunidense de pesquisa e desenvolvimento em fusão nuclear por confinamento magnético inclui laboratórios e universidades em 34 estados³⁶⁴, mas há apenas quatro centros com trabalho relevante para o ITER: o Laboratório Nacional de Oak Ridge (ONRL, Tennessee), que faz as vezes de anfitrião da Agência Doméstica, o Laboratório Nacional de Savannah River (SRNL, Carolina do Sul), o Laboratório de Física de Plasmas da Universidade de Princeton (PPPL, Nova Jersey) e o Massachusetts Institute of Technology (MIT), incluído nessa lista por exigência do Congresso dos EUA. Cumpre sublinhar que os dois primeiros foram criados para atender as necessidades do programa estadunidense de armas nucleares

363 Sítio da FES/DOE na internet. Disponível em: <science.energy.gov/fes>.

364 DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *U.S. Fusion Program Participants*. Mapa disponível em: <science.energy.gov/~media/fes>.

em meados do século passado. O principal *tokamak* estadunidense (DIII-D), no entanto, é mantido em San Diego por uma empresa privada, a General Atomics – grande beneficiária dos arranjos alocados ao DOE. Os demais experimentos de relevância são o Toroide Esférico Nacional (NSTX) em Princeton e o citado Alcator C-MOD, do MIT³⁶⁵.

Até março de 2014, a Agência Doméstica dos EUA já havia firmado mais de quatrocentos contratos com fornecedores em quarenta estados e no Distrito de Colúmbia em um valor total de 616 milhões de dólares. Os principais arranjos licitatórios atribuídos ao lado estadunidense incluem os seguintes componentes: solenoide central (100%), cabos das bobinas de campo toroidal (7%), módulos de blindagem (20%), e injetores de *pellets* de hidrogênio (88%)³⁶⁶.

O Departamento de Energia ainda não elaborou estratégia comparável à europeia ou à chinesa para o desenvolvimento de reatores de demonstração e usinas comerciais. A iniciativa nessa área parece estar com a General Atomics, um dos principais atores da indústria nuclear e de defesa dos EUA, com uma linha de produtos que vai do solenoide central do ITER aos *drones* de uso militar, passando por reatores nucleares de fissão, aparelhos médicos e sistemas de levitação magnética. A empresa encampou proposta, lançada inicialmente pelo FESAC, de uma Instalação Nacional de Ciências da Fusão (FNSF), que desempenharia papel semelhante ao CFETR chinês na transição entre o ITER e um primeiro reator de demonstração. É também da General Atomics a ideia de uma “Fusion Island”, conceito de reator de fusão dedicado apenas à produção de gás hidrogênio (H₂) como vetor energético alternativo à eletricidade³⁶⁷.

No que se refere à cooperação internacional, os Departamentos de Estado e de Energia têm limitado as atividades na área de fusão nuclear aos países-membros da OI-ITER. Os Estados Unidos assinaram

365 Sítio do *US ITER Project* na internet. Disponível em: <usiter.org>.

366 ORGANIZAÇÃO ITER. Relatório Anual para 2012.

367 NUTTALL, William et al. *A trip to fusion island* (artigo).

acordos bilaterais com a Federação Russa (na verdade, a continuação do acordo assinado em 1974 com a União Soviética), o Japão (1979, que prevê a manutenção de um “Instituto Conjunto para Pesquisa Teórica em Fusão”), a China (1986), a Euratom (1987), a República da Coreia (1996) e a Alemanha (2001). O teste estadunidense do módulo de camada fértil será feito em iniciativa conjunta com os sul-coreanos. Em tese, a cooperação na área de fusão nuclear pode ser desenvolvida com qualquer país que tenha programa de cooperação bilateral em ciência e tecnologia, em lista que inclui o Brasil³⁶⁸.

Ao abordar o programa de fusão nuclear dos Estados Unidos, nunca é demais recordar que o Departamento de Energia ostenta o título de maior empregador individual de cientistas em todo o mundo: 12 mil profissionais com doutorado, incluindo 111 prêmios Nobel. Obviamente, muitos desses cientistas nasceram e educaram-se no exterior. Desde os anos 1930, como bem ilustram o *Manhattan Project* e o programa espacial, os EUA sempre tiveram a seu favor o *brain drain*³⁶⁹. Resta saber se, no horizonte de operação do ITER (até 2042 ou 2052), esse potencial será utilizado com a robustez e a continuidade necessárias para viabilizar os próximos grandes passos da fusão nuclear controlada – algo que, no caso dos Estados Unidos, dificilmente será feito em conjunto com outros países. Além dos percalços de sua participação recente na OI-ITER, tudo indica que o país perderá um de seus grandes *drives* históricos na busca pela energia de fusão: a dependência externa. Segundo o “BP Outlook 2035”, graças em parte à exploração do *shale gas*, os EUA deverão alcançar a autossuficiência energética nos próximos vinte anos³⁷⁰.

368 DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *Fusion energy sciences international collaboration*. Informação disponível em: <science.energy.gov/~media/fes>.

369 YERGIN, Daniel. *The quest: energy, security and the remaking of the modern world*, p. 552.

370 Vide “BP Energy Outlook 2035”. Disponível em: <www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook>.

3.4. Federação Russa

Entre os membros da Organização ITER, a Federação Russa é o único exportador líquido de energia, aspecto que hoje constitui um dos pilares de sua inserção econômica e de seu prestígio internacional. A produção total de energia na Rússia chega a 1,31 bilhão de toneladas equivalentes de petróleo, com exportações de 570 milhões de tep (essencialmente, petróleo e gás natural). O país exporta 43,5% da energia que produz e, com isso, sua oferta interna resulta em 740 milhões de tep (8% no contexto global e 5,5% no contexto do ITER). A geração de eletricidade chega a 927 TWh, configurando índice de consumo *per capita* da ordem de 6,5 MWh³⁷¹.

A matriz energética da Federação Russa é dominada em 90% pelas fontes fósseis (56% gás natural, 19% petróleo e 15% carvão), seguidas pela hidráulica com 6% e pela fissão nuclear com cerca de 3%. As fontes fósseis também predominam na matriz de eletricidade com 65% (46% gás natural, 17% carvão e 2% petróleo), e são seguidas pela hidroeletricidade com 20% e pela fissão nuclear com 15%.³⁷² As emissões russas de CO₂ totalizam 1,6 bilhão de toneladas (5% do total global) e, em termos *per capita*, são superadas no âmbito ITER apenas pelas estadunidenses e pelas sul-coreanas³⁷³.

Além de deter a maior reserva mundial de gás natural, a segunda maior de carvão e a oitava maior de petróleo, a Federação Russa possui a terceira maior reserva de urânio, cerca de quinhentas mil toneladas recuperáveis de minério (10% do total global). Ao lado do Brasil, a Rússia é, dessa forma, um dos dois únicos países com domínio do ciclo do combustível nuclear e recursos expressivos de urânio. Por meio do conglomerado estatal Rosatom e com o apoio do Ministério dos Negócios Estrangeiros (MID), o país concretiza seu potencial como

371 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*.

372 Dados para 2011 da EIA (Departamento de Energia dos EUA).

373 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*.

protagonista do mercado internacional da energia nuclear. Até o final de 2014, a carteira de projetos da Rosatom no exterior deverá superar os cem bilhões de dólares³⁷⁴.

No plano doméstico, tendo em mente a perspectiva de esgotamento das fontes fósseis e o interesse em reduzir as emissões de gases do efeito estufa, a Rússia tenciona promover ambiciosa ampliação do peso da fissão nuclear em sua matriz elétrica, que deve passar dos atuais 11% para uma faixa de 25% a 30% até 2030, de 45% a 50% até 2050, e de 70% a 80% até 2100. No presente, há dez usinas em construção e outras vinte e cinco estão planejadas para o período 2017-2025³⁷⁵.

Nesse contexto de abundância de fontes e de ênfase na fissão, fica evidente que o interesse russo pela fusão nuclear é secundário do ponto de vista das necessidades internas. A participação da pátria de Andrei Sakharov, Igor Tamm e Lev Artsimovitch no ITER – um projeto lançado por outro russo, Mikhail Gorbachov – visa basicamente a ampliar a capacitação tecnológica da indústria russa e, na eventualidade de uma era de *tokamaks* comerciais, prepará-la para competir nesse mercado. Assim, não é por mera casualidade que a Agência Doméstica da Federação Russa para a OI-ITER é precisamente a Rosatom. Trata-se do único membro a ter uma empresa (ainda que estatal e com as peculiaridades da Rosatom) como a AD prevista pelo artigo 8º, parágrafo 4º, do acordo constitutivo de 2006³⁷⁶.

3.4.1. Rosatom

Criada em 2007, após longo processo de reestruturação da indústria nuclear russa, a Rosatom é o quarto maior operador

374 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Nuclear power in Russia*. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles>.

375 DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *Russia Country Briefing*. Disponível em: <www.eia.gov/countries/analysisbriefs/Russia>.

376 "ITER Newslines", 29 de abril de 2011.

nucleoelétrico (177 TWh em 2012) e o terceiro maior minerador de urânio do mundo (7,7 mil toneladas em 2013). Integrado por cerca de 350 subsidiárias e centros de pesquisa, o conglomerado constitui exemplo de verticalização no setor, abrangendo atividades que vão da prospecção e mineração do urânio à geração de eletricidade em centrais nucleares³⁷⁷. Trata-se de uma empresa estatal (*gosudarstvennaia korporatsia*), de propriedade integral da Federação Russa, que acumula competências regulatórias (seria o equivalente, no Brasil, a uma combinação da CNEN, da INB, da NUCLEP e da Eletronuclear).

Em 2011, a Rosatom substituiu o tradicional Instituto Kurchatov – o responsável pelo desenvolvimento histórico do *tokamak* – na condição de Agência Doméstica para a Organização ITER. A decisão foi tomada pelo Kremlin em virtude da prioridade industrial do projeto e pelo interesse em fortalecer as capacidades da empresa em todas as dimensões da energia nuclear³⁷⁸. A Rosatom absorveu a unidade especial que havia sido criada em 2008 pelo Kurchatov, denominada “Centro ITER” (*ITER Tsentr*). A unidade é composta por três diretorias: i) administração e finanças; ii) questões técnicas; e iii) gestão do projeto, esta última responsável pela execução e supervisão dos arranjos licitatórios. Existe, ainda, um comitê científico-tecnológico que assessora o presidente da Rosatom sobre os assuntos relativos à participação russa no ITER³⁷⁹.

O “Centro ITER” coordena o trabalho dos quatro centros tecnológicos envolvidos diretamente no projeto: além do Kurchatov (Moscou), os Institutos Ioffe (São Petersburgo) e de Física Aplicada (Nijni Novgorod), ambos vinculados à Academia Russa de Ciências, e o Instituto Triniti de Pesquisa Termonuclear (Troitsk). No momento, os pesquisadores russos têm três grandes *tokamaks* à disposição: o

377 Dados para 2012. Sítio da Rosatom na internet. Disponível em: <www.rosatom.ru>.

378 Assim como as demais potências nucleares, a Rússia mantém – igualmente via Rosatom – um projeto separado de confinamento inercial a *laser*, de interesse militar.

379 Sítio do “Centro ITER” na internet. Disponível em: <www.iterf.ru>.

T-15 (Kurchatov), com bobinas supercondutoras; o Globus-M (Ioffe), esférico; e o T-11 (Trinita), compacto³⁸⁰.

Os principais arranjos licitatórios alocados à Rússia pela OI-ITER incluem as seguintes áreas: bobina superior do campo poloidal (100%), cabos supercondutores das bobinas de campo toroidal (20%) e poloidal (18%), portas superiores da câmara de vácuo (24%), módulos de blindagem (20%), parte superior dos divisores (100%), sistemas de teste das matérias voltados ao plasma (100%), circuitos da subestação de alta voltagem (100%), fontes do sistema de aquecimento externo por radiofrequência (31%), instrumentos de diagnóstico (13%)³⁸¹. No caso russo, não há propriamente licitações e sim uma distribuição interna entre as subsidiárias da Rosatom. Os maiores fornecedores ao ITER são as empresas de economia mista TVEL Combustível Nuclear, NIIIEFA Eletrofísica, Bochvar Alta Tecnologia, Nikiet Engenharia e VNIIEK Cabos e Linhas de Transmissão. Esta última empresa pretende utilizar a tecnologia adquirida com os supercondutores de nióbio-estanho e de nióbio-titânio para desenvolver nova geração de linhas de transmissão de altíssima capacidade³⁸².

Embora seja o Estado-membro que menos necessite da energia de fusão, a Federação Russa deverá ser pioneira no desenvolvimento de um reator de demonstração, cujo projeto conceitual já foi elaborado por grupo de trabalho liderado pelo ex-presidente do Conselho da OI-ITER Evgeni Velikhov. Não se trata, porém, de um reator puro de fusão, mas de um híbrido que, no caso russo, utilizará os nêutrons rápidos das reações term nucleares para gerar fissão em módulos com urânio e plutônio reprocessados (testes também serão feitos com módulos de urânio e tório). A Rosatom planeja finalizar a construção de um DEMO-FNS (*fast neutron source demonstration reactor*) até 2020 e operar comercialmente a primeira usina híbrida fusão-fissão em

380 *Id.*

381 ORGANIZAÇÃO ITER. *Common Understandings on Procurement Allocation.*

382 Sítio do "Centro ITER" na internet. Disponível em: <www.iterrf.ru>.

2030, o mesmo ano em que a Euratom espera começar a construção de seu DEMO exclusivo de fusão³⁸³.

Como vemos no próximo capítulo, essa hipótese híbrida é defendida desde 2006 pelo físico francês Paul-Henri Rebut, pioneiro do JET e do ITER, mas constitui anátema para europeus e japoneses, ao eliminar a principal vantagem da energia de fusão na comparação com a outra “energia nuclear”: a não utilização de matérias físséis. Na avaliação dos russos e de Rebut, no entanto, os reatores híbridos permitiriam agilizar a aplicação prática da fusão nuclear controlada e, ao mesmo tempo, criar alternativa eficiente, econômica e mais segura para reprocessar o combustível nuclear usado em reatores de fissão.

A cooperação internacional extra-ITER na área de fusão nuclear é coordenada pelo Ministério dos Negócios Estrangeiros, mas tem-se limitado às antigas repúblicas soviéticas – com destaque para o Cazaquistão. Com os demais membros da OI-ITER, além de acordos com a Euratom e os Estados Unidos, a Federação Russa mantém parceria específica com a Itália no âmbito do projeto IGNITOR, um *tokamak* compacto com campos magnéticos ultraintensos, e com a Índia para os módulos-teste da camada fértil. As autoridades russas têm demonstrado, ainda, interesse em explorar oportunidades de cooperação com parceiros, dentro e fora do ITER, para o desenvolvimento dos reatores híbridos de fusão-fissão³⁸⁴.

Cabe, por fim, uma palavra sobre os desdobramentos da crise russo-ucraniana da Crimeia. Conforme mencionado na seção 2.6, a cidade de São Petersburgo deveria ter recebido a reunião ordinária do Conselho da OI-ITER no primeiro semestre de 2014. Como consequência da primeira troca de sanções entre Estados Unidos e Rússia, que dificultou os deslocamentos de funcionários públicos, o então DG Osamu Motojima foi obrigado a transferir a reunião para Saint-Paul-lez-Durance. Em 30 de abril, em carta aos integrantes do

383 VELIKHOV, E. *Russian Strategy for Controlled Fusion* (apresentação).

384 “ITER Newslines”, 14 de maio de 2010.

Conselho, Motojima disse estar “very much concerned about the current international tension and its possible political impact on the ITER project” e defendeu que a Organização se mantivesse neutra, “staying outside of the world political loops”³⁸⁵. Seria prematuro afirmar que, além da mudança do local de uma reunião, a crise da Crimeia gerará consequências para a participação russa. No entanto, caso a situação se agrave e novas sanções venham a afetar o fluxo de bens e recursos financeiros, o ITER dificilmente sairá ileso.

3.5. Índia

Membro de menor desenvolvimento relativo da OI-ITER, a Índia será o mais populoso ao final desta década e estará entre os quatro maiores consumidores mundiais de energia (ao lado de China, Estados Unidos e Europa). No presente, sua oferta interna de energia é de 754 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (6% no contexto global e 8% no contexto do ITER). Com importações de 213 milhões de tep, o índice indiano de dependência externa é da ordem de 28%. A geração de eletricidade totaliza 835 TWh, o que configura o mais baixo índice de consumo *per capita* entre os membros da OI-ITER: apenas 0,6 MWh (um vigésimo do consumo *per capita* estadunidense)³⁸⁶.

A matriz energética da Índia é dominada pelas fontes fósseis: 73% (44% carvão, 22% petróleo e 7% gás natural). Vêm, a seguir, as fontes renováveis com 25% (22% biomassa e 3% hidráulica) e a fissão nuclear com 1%. A matriz de eletricidade repete o predomínio das fósseis com 69% (59% carvão, 9% gás natural e 1% petróleo), seguidas pelas renováveis com 29% (17% hidráulica e 12% de PCHs, eólica, solar e biomassa) e pela fissão nuclear com 2%. A Índia é, portanto, o membro da Organização ITER com a maior participação de fontes renováveis na matriz (embora isso se deva, sobretudo, ao emprego

385 Revista “Physics World”, 20 de maio de 2014.

386 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 Key World Energy Statistics.

de lenha nas zonas menos desenvolvidas do país)³⁸⁷. As emissões indianas de CO₂ somam 1,7 bilhão de toneladas (6% do total global) e, em termos *per capita*, correspondem a apenas um 1/12 das emissões estadunidenses e a um sexto das europeias³⁸⁸.

Desde o ano 2000, a economia da Índia tem crescido a uma média anual de 7%, ritmo não acompanhado pela produção interna de energia. A dependência externa tem aumentado em consequência e, em 2013, o governo de Nova Delhi lançou plano – reiterado pelo novo gabinete liderado pelo Partido do Povo Indiano (BJP) – para atingir a autossuficiência energética até o ano de 2030³⁸⁹. De acordo com o “BP Energy Outlook 2035”, contudo, a crescente demanda por petróleo e, sobretudo, por gás natural importado deverá dificultar a consecução da meta³⁹⁰.

No caso da geração de eletricidade, os planos do governo indiano incluem a expansão da fonte nuclear, que deverá chegar a responder por 25% da matriz elétrica até 2050. O grande objetivo de longo prazo do programa nuclear civil da Índia, no entanto, é a utilização das abundantes reservas de tório em seu território (846 mil toneladas), comparáveis apenas às da Turquia (744 mil toneladas) e do Brasil (606 mil toneladas)³⁹¹. De acordo com o *roadmap* traçado pelo cientista Homi Bhabha, o mesmo que em 1955 anunciara a fusão como “uma realidade dentro de vinte anos”, o programa deveria ser desenvolvido em três etapas, cada uma com ênfase em um tipo específico de reator que reutilizaria o combustível nuclear empregado na etapa anterior. Esse esforço culminaria com um reator regenerativo de água pesada, de tecnologia indiana, capaz de enfim aproveitar o potencial energético do tório. Por enquanto, excluídas as duas recentes aquisições de

387 Dados para 2011 da EIA (Departamento de Energia dos EUA).

388 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *2013 Key World Energy Statistics*.

389 DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *India Country Briefing*. Disponível em: <www.eia.gov/countries/analysisbriefs/India>.

390 *BP Energy Outlook 2035 – India*. Disponível em: <www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook>.

391 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Informação sobre o tório*. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info>.

usinas da Rosatom (independentes do *roadmap*), existem apenas as centrais da primeira etapa, de tecnologia canadense CANDU, que, além de eletricidade, produziram o plutônio e o trítio empregados no programa de armas nucleares da Índia. O reator protótipo da segunda etapa deverá ser comissionado apenas em 2015, de forma que, segundo a previsão do prestigiado Instituto Bhabha de Pesquisa Nuclear, o reator regenerativo indiano a tório somente será viável “depois de 2070”³⁹².

Ao decidir entrar na OI-ITER em fins de 2005, Nova Delhi levou em consideração três aspectos principais: i) a atratividade da energia de fusão tanto *per se*, quanto para uma possível utilização no *roadmap* Bhabha de aproveitamento do tório; ii) a capacitação tecnológica e industrial do complexo nuclear local e do programa doméstico de fusão; iii) o prosseguimento da estratégia de “normalização” do programa nuclear civil indiano depois do acordo de julho de 2005 com os EUA, que abriu caminho três anos mais tarde para o ingresso da Índia no Grupo de Supridores Nucleares (NSG), mesmo sem ter assinado o Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP). Na avaliação das autoridades indianas, esses benefícios mais que justificariam o custo das contribuições à Organização, feitas majoritariamente em espécie.

É interessante observar que a Índia começou sua pesquisa na área de fusão depois do Brasil. Em iniciativa do Departamento de Ciência e Tecnologia (DST), o Instituto de Pesquisa de Plasmas (IPR) foi fundado em 1986 no estado de Gujarat e começou a operar o Aditya, primeiro *tokamak* experimental da Índia, somente em 1989 – dez anos após o TBR-1 da Universidade de São Paulo. Em 1995, o IPR passou à área de competência do Departamento de Energia Atômica (DAE), que determinou a construção de máquina de grande porte: o SST-1, um *tokamak* com bobinas supercondutoras. Fabricada com tecnologia

392 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. Informação sobre energia nuclear na Índia. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles>.

indiana a um custo total de trinta milhões de dólares, a versão final do SST-1 alcançou seu primeiro plasma em 2013³⁹³.

Apesar do progresso verificado nos últimos vinte anos, a Índia é o membro da OI-ITER com o mais modesto programa doméstico de fusão, cujo orçamento é absorvido quase que integralmente pelas contribuições ao reator de Cadarache. O IPR é a única instituição indiana dedicada exclusivamente à fusão nuclear. Mantém cursos de pós-graduação e uma unidade de integração com a indústria: o Centro de Facilitação para Tecnologias de Plasmas Industriais (FCTIP). Hospeda, ainda, a Agência Doméstica da Índia para a Organização, conhecida simplesmente como “ITER-India”.

3.5.1. ITER-India/Departamento de Energia Atômica

Criada em novembro de 2007 com o *status* de iniciativa especial do Departamento de Energia Atômica no âmbito do IPR, a agência ITER-India é responsável pelas contribuições indianas ao projeto de Cadarache. Sediada em Ahmedabad, estado de Gujarat, a agência conta com estrutura simplificada, integrada por um diretor-geral, um cientista-chefe, um diretor de projeto e nove gerentes, que coordenam o trabalho de equipe de mais de cem cientistas e engenheiros³⁹⁴. Os principais arranjos licitatórios distribuídos à Índia incluem os seguintes componentes, quase todos de natureza convencional: criostato (100%), blindagem da câmara de vácuo (100%), fontes de radiofrequência para o sistema de aquecimento externo por ICRH (100%), sistemas iniciais do aquecimento externo por ECRH (8%) e instrumentos de diagnóstico, em especial os relacionados aos feixes neutros (3%)³⁹⁵. A maior parte dos fornecedores encontra-se em

393 Discurso do presidente da Comissão de Energia Atômica da Índia, dr. Ratan Kumar Sinha, à 57ª Conferência Geral da AIEA, 2013. Disponível em: <www.barc.gov.in/presentations>.

394 Sítio da Agência ITER-India na internet. Disponível em: <www.iter-india.org>.

395 ORGANIZAÇÃO ITER. *Common Understandings on Procurement Allocation*.

Gujarat, incluindo o principal vencedor das licitações indianas para o ITER: o conglomerado de engenharia Larsen & Toubro, que constrói o criostato, um dos componentes mais caros da máquina.

A agência também é responsável pela cooperação com a Rússia na execução de um dos seis projetos de módulo-teste para a camada fértil do ITER (o conceito russo-indiano deverá empregar liga de lítio e chumbo). Apesar de seu tradicional programa voltado ao tório, a Índia ainda não demonstrou intenção de colaborar com o projeto russo de reator híbrido de fusão-fissão, que, como vimos, inclui teste de módulos com aquele elemento. De acordo com as manifestações públicas das lideranças do IPR, o futuro DEMO indiano deverá operar exclusivamente com fusão e insere-se no cronograma de desenvolvimento de reator nucleoeletrico comercial somente para o período pós-2060 (o ano de 2065 costuma ser utilizado como referência para o reator indiano de fusão)³⁹⁶. No entanto, a tentação de utilizar a fusão nuclear em testes para o aproveitamento do tório parece suficientemente grande para justificar a revisão dessa política.

3.6. Japão

O Japão é um dos maiores consumidores mundiais de energia e um dos mais dependentes de importações. Suas vulnerabilidades históricas foram realçadas pela catástrofe natural de 11 de março de 2011 e pelo posterior acidente na central nuclear de Fukushima, que levou à virtual paralisação de seu parque nucleoeletrico. De acordo com a Agência Internacional de Energia, o país registra oferta interna de 472 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (3,6% no contexto global e 5% no contexto do ITER), importações da ordem de 421 milhões de tep e um índice de dependência externa de 90%, o mais alto entre os membros da Organização. A geração de eletricidade é de

396 SRINIVASAN, R. *India's strategy for fusion energy* (apresentação).

1.003 TWh, com um consumo *per capita* de 7,8 MWh, o terceiro mais alto no âmbito da OI-ITER³⁹⁷.

Com a desativação de todas as cinquenta usinas nucleares do Japão, a matriz energética do país passou a registrar domínio de 94% das fontes fósseis (45% petróleo, 25% carvão e 24% gás natural), seguidas pelas renováveis com apenas 4% (3% hidráulica, 1% geotérmica) e pela fissão nuclear com 1% (em 2010, antes de Fukushima, a participação do nuclear era de 12%). As fontes fósseis hoje representam 93% da matriz elétrica (37% carvão, 37% gás natural e 19% petróleo), seguidas pela hidroeletricidade com 6% e pela fissão nuclear com 1% (em 2010, esse índice era de 28%)³⁹⁸. No contexto da OI-ITER, não há membro com esse grau de prevalência de energia de origem fóssil. As emissões japonesas de CO₂ chegam a 1,2 bilhão de toneladas (4% do total global), o que faz do Japão o integrante do ITER com o terceiro maior índice de emissão *per capita* (abaixo apenas de Estados Unidos e Federação Russa)³⁹⁹.

Até março de 2011, a energia nuclear era um dos elementos centrais da estratégia de Tóquio para a diminuição das emissões de gases do efeito estufa e, sobretudo, para a redução da dependência externa. Apesar de não possuir reservas de urânio, o país recorreria a ambicioso projeto de reprocessamento de combustível nuclear (concentrado em Rokkasho-mura, no norte de Honshu) e de desenvolvimento de reatores regenerativos de fissão (com tecnologia japonesa baseada no protótipo de Monju). De acordo com esses planos, a participação do nuclear na matriz elétrica deveria chegar a mais de 60% até 2050. O acidente de Fukushima alterou a situação por completo, ainda que a decisão de *phase out* da fissão nuclear, tomada em 2012 pelo governo então liderado pelo Partido Democrático do

397 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 Key World Energy Statistics.

398 Dados para 2013 do Instituto Japonês da Economia da Energia. Disponíveis em: <eneken.ieej.or.jp/en/jeb/indicators.pdf>.

399 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 Key World Energy Statistics.

Japão (PDJ), tenha sido revertida poucos meses depois pela gestão do primeiro-ministro Shinzo Abe, do Partido Liberal Democrata (PLD), tradicional aliado da indústria nuclear japonesa⁴⁰⁰.

Com a Toshiba (que adquiriu a Westinghouse em 2006), a Hitachi (que assumiu a divisão de energia nuclear da General Electric em 2005) e com a Mitsubishi Heavy Industries, o Japão tornou-se ator de primeira grandeza no mercado internacional da energia de fissão nuclear, com excelentes perspectivas no contexto do chamado “renascimento” do setor – ironicamente prejudicado pelo acidente em território japonês. Na nova política econômica do governo Abe, está assegurada prioridade aos interesses nucleares dos três conglomerados, tanto dentro, quanto fora do Japão⁴⁰¹. Permanece, no entanto, a incerteza quanto ao redimensionamento da fissão no planejamento energético de longo prazo, sobretudo à luz das dificuldades enfrentadas pelo programa dos reatores regenerativos. O protótipo de Monju tem sido motivo de reiterados constrangimentos e poucos acreditam hoje na meta de emprego de reatores com essa tecnologia antes de 2050 – o que tem favorecido a aposta na fusão⁴⁰². Vale mencionar, ainda, a ênfase dada pelas grandes montadoras japonesas (Toyota, Honda e Nissan) ao carro elétrico, com óbvias consequências sobre a demanda de eletricidade.

Como visto no capítulo sobre os antecedentes da OI-ITER, o governo japonês havia elevado a fusão nuclear controlada à condição de “projeto nacional” logo após o choque do petróleo de 1973, equiparando-a à iniciativa dos reatores regenerativos de fissão. O primeiro grande *tokamak* nipônico, o JT-60, começou a ser construído em 1975 e entrou em operação dez anos mais tarde, coincidindo com a proposta de Gorbatchov na Cúpula de Genebra. Ao lado de EUA, União

400 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Nuclear power in Japan*. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles>. Obviamente, Abe não reverteu as novas exigências de segurança, destinadas a evitar a repetição de acidentes como o de Fukushima.

401 Telegrama 1241, de 2 de agosto de 2013, da Embaixada do Brasil em Tóquio.

402 “The New York Times”, 17 de junho de 2011.

Soviética (depois Rússia) e União Europeia, o Japão integrou o “G-4” da fusão até a criação da Organização ITER. Na fase de negociações do acordo constitutivo de 2006, o país não economizou capital político e diplomático ao disputar com o lado europeu a condição de anfitrião do projeto (candidatura do complexo de Rokkasho), tendo cedido em junho de 2005 somente após generoso pacote de contrapartidas: da possibilidade de escolher o diretor-geral da nova OI⁴⁰³ à garantia de que 20% das contribuições da Euratom seriam contratadas de empresas japonesas. Adicionalmente, Tóquio e Bruxelas estabeleceram a parceria da “Abordagem Ampla”, possível embrião de uma organização internacional para o pós-ITER, com sede em Rokkasho.

Depois de Fukushima, a fusão nuclear e o ITER ganharam relevância inédita para os interesses estratégicos nipônicos, com vantagens de curto e médio prazo para a indústria de alta tecnologia e, se tudo correr como se espera, com benefícios ainda maiores de longo prazo para a redução da histórica vulnerabilidade energética do Japão. O *status* da energia de fusão foi elevado na versão revista do Plano Básico de Ciência e Tecnologia 2011-2015, com ênfase na dupla dimensão da segurança (“national security e operational safety”)⁴⁰⁴. Por enquanto, o cronograma de desenvolvimento do reator de demonstração acompanha o europeu (previsão de um DEMO construído até 2040), reflexo da cooperação com a Euratom no marco da “Abordagem Ampla” (*vide* capítulo 4). Tendo em mente a ênfase em inovação da gestão Abe, bem como sua estreita ligação com a indústria nuclear, é lícito especular que o Japão opte por seu próprio *roadmap* nos próximos anos, tal como fizeram seus vizinhos na Ásia.

A tarefa de coordenar o programa nipônico de energia de fusão cabe ao órgão de fomento de pesquisa e desenvolvimento em energia nuclear, a Agência Japonesa de Energia Atômica (JAEA), vinculada ao Ministério da Educação, Cultura, Ciência e Tecnologia (MEXT). A JAEA

403 Com a nomeação de um francês para DG da OI-ITER, em 2015, essa contrapartida deixou de existir.

404 YAMADA, H. *Current status of fusion energy research and development in Japan* (apresentação)

faz as vezes de Agência Doméstica nipônica tanto para a Organização ITER, quanto para o acordo Japão-Euratom de “Abordagem Ampla”⁴⁰⁵. No âmbito exclusivamente doméstico, o órgão mantém o Instituto Nacional de Ciências da Fusão (NIFS), que opera o experimento LHD, único grande *stellarator* no continente asiático⁴⁰⁶. O DG da OI-ITER entre 2010 e 2015, Osamu Motojima, presidiu o NIFS nos anos 2000.

3.6.1. Agência Japonesa de Energia Atômica (JAEA)

A JAEA é responsável por todas as contribuições do Japão à Organização ITER. Sua estrutura para a área de fusão inclui dois institutos: Naka (mais voltado às atividades de Cadarache) e Rokkasho (mais voltado às atividades da “Abordagem Ampla”, conduzidas integralmente em território japonês). O Instituto de Naka (uma cidade a cento e cinquenta quilômetros de Tóquio) é integrado pelos departamentos encarregados das contribuições *in kind* ao ITER e da operação do JT-60 SA, o *tokamak* de 1985, que será modernizada com apoio europeu. O Instituto de Rokkasho (seiscentos quilômetros ao norte de Tóquio) é integrado, por sua vez, por departamentos encarregados do teste de materiais, dos módulos da camada fértil e do projeto de reator de demonstração. As duas instituições foram fisicamente atingidas pelo terremoto de março de 2011, contribuindo para parte do atraso no cronograma de construção do reator de Cadarache⁴⁰⁷.

A indústria japonesa está entre as maiores beneficiárias diretas do ITER. Além de ter sido favorecido pelo acerto de junho de 2005 (o Japão arca com uma quota de 1/11, mas suas empresas receberão 2/11 dos contratos), o complexo nuclear nipônico foi aquinhado na partilha dos arranjos licitatórios com a maior parte das encomendas

405 AGÊNCIA DE ENERGIA ATÔMICA DO JAPÃO (JAEA). *ITER: creating a sun on Earth*, p. 6.

406 COMISSÃO EUROPEIA. *R&D needs and required facilities for the development of fusion as an energy source*, p. 20.

407 “ITER Newslines”, 20 de julho de 2011.

de cabos de nióbio-estanho e nióbio-titânio para as bobinas supercondutoras, bem como com os componentes mais complexos do sistema de manipulação remota (reconhecimento da liderança do país em robótica)⁴⁰⁸. Os grupos Toshiba, Mitsubishi e Hitachi venceram a maioria das licitações realizadas pela JAEA. Cumpre mencionar que, assim como no caso chinês, o interesse pelo nióbio – sobretudo para siderurgia, mas também para supercondutores – levou consórcio japonês liderado pela estatal JOGMEC a adquirir 10% da empresa brasileira CBMM, líder mundial na produção do metal.

Em estratégia definida em conjunto com o Ministério dos Negócios Estrangeiros (Gaimusho), a JAEA tem priorizado a cooperação internacional na área de fusão com os parceiros do ITER (acordos bilaterais firmados com Estados Unidos, Euratom, China, Federação Russa e República da Coreia) e com um único país extra-ITER: a Austrália⁴⁰⁹. Japoneses e europeus são os únicos membros da OI-ITER a realizar de forma isolada seus testes para os módulos da camada fértil⁴¹⁰.

3.7. República da Coreia

A República da Coreia é o membro da OI-ITER com o menor território, a menor população e o menor PIB. O país ostenta, no entanto, índices de desenvolvimento comparáveis aos de estadunidenses, europeus e japoneses. É também o membro que mais investe em pesquisa e desenvolvimento (3,7% do PIB). Compartilha com o Japão a forte dependência energética externa, com índice que alcança 83%, segundo os dados da AIE. Sua oferta interna de energia é de 274 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (apenas 2% no contexto global e 3% no contexto do ITER), com importações de

408 ORGANIZAÇÃO ITER. *Common Understandings on Procurement Allocation*.

409 AGÊNCIA DE ENERGIA ATÔMICA DO JAPÃO (JAEA). *Fusion: future energy of the Earth*, p. 12.

410 GIANCARLI, L.M. et al. *Overview of the ITER TBM Program* (artigo).

227 milhões de tep. A geração de eletricidade alcança 506 TWh, o que configura consumo *per capita* de 10,1 MWh, o segundo mais alto entre os membros da Organização⁴¹¹.

A matriz energética da República da Coreia é dominada em 86% pelas fontes fósseis (42% petróleo, 28% carvão e 16% gás natural), seguidas pela fissão nuclear com 13% e pelas renováveis com menos de 1% (o menor índice no contexto ITER). A matriz de eletricidade é igualmente dominada pelas fontes fósseis com 70% (45% carvão, 23% gás natural e 2% petróleo), seguidas pela fissão nuclear com 29%⁴¹². As emissões sul-coreanas de CO₂ chegam a 588 milhões de toneladas (2% do total global), levando o país a ocupar a segunda posição no *ranking* de emissões *per capita* do ITER: 11,7 toneladas por habitante (o dobro da China e oito vezes mais que a Índia)⁴¹³.

Confrontada por desafios semelhantes aos do Japão, a República da Coreia atribui a mais alta prioridade à fonte nuclear em seu planejamento energético, industrial e científico-tecnológico. Depois de Fukushima, as autoridades de Seul viram-se forçadas a adotar normas mais exigentes de segurança e a reduzir a velocidade do plano de expansão do parque nucleoeletrico local, que até 2035 deverá manter seu presente peso de cerca de 30% na matriz elétrica (no plano original, esse índice chegaria a 40%). A ênfase na indústria nuclear sul-coreana, no entanto, segue inalterada⁴¹⁴.

Mesmo sem possuir reservas de urânio e sem poder reprocessar combustível nuclear, decorrência de acordos com os Estados Unidos, os sul-coreanos lograram desenvolver seus próprios modelos de reator e ingressaram no restrito clube de exportadores de usinas nucleares. Em 2009, a Companhia Sul-Coreana de Energia Elétrica (KEPCO)

411 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*. Em consumo *per capita* de energia elétrica, os sul-coreanos são superados na OI-ITER apenas pelos estadunidenses.

412 DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *South Korea Country Briefing*. Disponível em: <http://www.eia.gov/countries/analysisbriefs/South_Korea>.

413 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*.

414 DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *South Korea Country Briefing*.

venceu a licitação para a construção nos Emirados Árabes Unidos de quatro reatores de 1,4 GWe cada um, em contrato com valor total de vinte bilhões de dólares estadunidenses. Na avaliação de Seul, mesmo depois do acidente de Fukushima, a energia nuclear deverá se transformar em um dos mais rentáveis mercados internacionais para a indústria sul-coreana, ao lado dos automóveis, dos semicondutores e dos navios. Até 2030, a KEPCO planeja exportar cerca de oitenta novos reatores, em um volume de negócios da ordem de quatrocentos bilhões de dólares estadunidenses⁴¹⁵.

Nesse contexto, para a República da Coreia, a fusão nuclear constitui interessante alternativa para a redução de sua vulnerabilidade energética no pós-2050 e para a “descarbonização” de sua economia, mas é vista, no contexto de sua diplomacia econômica e científico-tecnológica, como um programa de arraste tecnológico e uma promissora oportunidade de negócios para o florescente complexo industrial nuclear, liderado pela KEPCO e com a participação de conglomerados como Hyundai, Samsung, Daewoo e Doosan. A decisão de ingressar no ITER em 2003 foi tomada basicamente em função dos interesses mais imediatos da indústria sul-coreana, como deixa claro a primeira versão da estratégia nacional de energia de fusão, adotada em fins do século passado⁴¹⁶.

Entre os membros da OI-ITER, a República da Coreia destaca-se como o único que conta com legislação específica para a promoção da energia de fusão e com uma estratégia bem definida para os “próximos passos”.

415 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Nuclear power in South Korea*. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles>.

416 LEE, Gyung-Su. *Status of the K-STAR project and fusion research in Korea* (apresentação).

3.7.1. O caminho sul-coreano (Plano Nacional de Energia de Fusão)

O programa sul-coreano de pesquisa e desenvolvimento em fusão nuclear começou quase em paralelo ao indiano (ou seja, depois da construção do pioneiro *tokamak* brasileiro na USP). Os primeiros experimentos de maior porte entraram em operação somente na década de 1990, em iniciativas do Instituto Sul-Coreano de Pesquisa em Energia Atômica (KAERI), órgão oficial de fomento na área, e da Universidade de Estudos Avançados em Ciência e Tecnologia (KAIST). Em 1995, o governo da República da Coreia decidiu construir um grande *tokamak* com bobinas supercondutoras de nióbio, o K-STAR (*Korean Superconducting Tokamak for Advanced Research*), que entrou em funcionamento em 2008 e encontra-se hoje entre os mais avançados do mundo⁴¹⁷.

Em 2005, Seul estabeleceu o Plano Nacional de Desenvolvimento da Energia de Fusão, convertido em lei dois anos mais tarde. Trata-se de um *roadmap* com o objetivo de transformar a República da Coreia em líder mundial no domínio das tecnologias da energia de fusão. Sua implementação prevê quatro etapas: i) a operação do K-STAR a partir de 2008 como *tokamak* de referência internacional; ii) a participação no Projeto ITER, como “instrumento de aperfeiçoamento e atualização” das capacidades do país; iii) o desenvolvimento do reator sul-coreano de demonstração, o K-DEMO, até 2037; iv) o desenvolvimento do reator sul-coreano comercial até 2045⁴¹⁸.

De acordo com o plano de 2005, a aplicação prática da fusão nuclear deverá trazer cinco benefícios principais para a sociedade sul-coreana: i) servir como vetor do desenvolvimento nacional na segunda metade deste século; ii) criar novas indústrias, em especial baseadas na tecnologia de plasmas; iii) impulsionar a competitividade em áreas

417 COMISSÃO EUROPEIA. *R&D needs and required facilities for the development of fusion as an energy source*, p. 21.

418 KIM, Keeman. *Update on the conceptual study of the K-DEMO* (apresentação).

como supercondutores, novos materiais e aplicações industriais de altas e baixas temperaturas; iv) garantir a segurança energética com a consecução da autossuficiência (qualificada de “national imperative beyond economic value”); e v) reduzir os passivos ambientais das emissões de CO₂ e dos rejeitos nucleares. O documento sul-coreano sublinha o significado dos *spin-offs* e reitera o papel estratégico da fusão para as tecnologias supercondutoras e a engenharia de materiais⁴¹⁹.

De acordo com a Lei de Promoção da Energia de Fusão⁴²⁰, a execução do *roadmap* sul-coreano cabe ao Ministério da Educação, Ciência e Tecnologia (rebatizado no atual governo como Ministério da Ciência, Tecnologias da Informação e Comunicação e Planejamento de Longo Prazo) com a assessoria do Comitê Nacional de Fusão (FNC), integrado por representantes da academia e da indústria. Na prática, a principal unidade administrativa no setor é o Instituto Nacional de Pesquisa em Fusão (NRFI), sediado em Daejeon (cidade a 140 quilômetros de Seul) e composto por quatro departamentos: i) tecnologia de plasmas; ii) engenharia da fusão; iii) teoria da fusão; e iv) operação do K-STAR. O NRFI tem a incumbência de elaborar os planos quinquenais do setor. A Agência Doméstica sul-coreana para a OI-ITER é um escritório subordinado ao NRFI, conhecido simplesmente como “ITER-Korea”.

A cooperação internacional da República da Coreia é feita exclusivamente pelo NRFI, em articulação com o Ministério dos Negócios Estrangeiros. Por enquanto, com exceção da Austrália, limita-se aos países do ITER (há acordos bilaterais firmados com China, Estados Unidos, Federação Russa e Japão). Tendo em vista o objetivo de transformar o reator K-STAR em referência internacional na pesquisa em fusão, as autoridades sul-coreanas têm sinalizado a intenção de ampliar a rede de parcerias dentro e fora da OI-ITER⁴²¹.

419 Sítio da agência ITER-Korea na internet. Disponível em: <www.iterkorea.org>.

420 A íntegra da lei está disponível no sítio do Ministério da Legislação. Disponível em: <www.moleg.go.kr>.

421 Folheto de apresentação do Instituto Nacional de Pesquisa da Fusão (NRFI), 2011.

Ainda não houve definição de Seul sobre a hipótese de desenvolvimento do K-DEMO em conjunto com outros países.

3.7.2. ITER-Korea

Criado antes mesmo da assinatura do acordo constitutivo de 2006, o escritório ITER-Korea é responsável pela coordenação da participação sul-coreana no projeto de Cadarache. Com sede em Daejeon e subordinado diretamente ao NRFI, o ITER-Korea é composto por três departamentos: i) gestão e planejamento, que conduz os arranjos licitatórios alocados ao lado sul-coreano; ii) engenharia de *tokamaks*; e iii) engenharia de sistemas⁴²².

Até o final de 2012, trinta e cinco contratos haviam sido assinados com empresas, universidades e laboratórios em todo o território da República da Coreia⁴²³. Os principais arranjos licitatórios distribuídos ao país incluem os seguintes componentes: cabos condutores do campo poloidal (20%), câmara de vácuo (20%), portas da câmara de vácuo (76%), módulo de blindagem (10%), máquinas para montagem do reator (100%), blindagem térmica (100%), conversores de corrente elétrica (38%), sistemas de diagnóstico (3%)⁴²⁴. Assim como no caso da China e do Japão, o forte interesse pelo nióbio levou um grupo de empresas da República da Coreia a adquirir 5% do capital da empresa brasileira CBMM.

As autoridades sul-coreanas costumam realçar a tempestividade e a alta qualidade de suas contribuições ao reator de Cadarache. Nas palavras nada modestas do atual diretor da Agência Doméstica, Kijung Jung, “when Korea joined the project in June 2003, it fell behind in many aspects compared to other members [...] and it is now leading

422 Sítio da agência ITER-Korea na internet. Disponível em: <www.iterkorea.org>.

423 Organização ITER. Relatório Anual para 2012.

424 *Id.* *Common Understandings on Procurement Allocation*.

ITER⁴²⁵. A República da Coreia mantém um sistema especial de inventário de suas contribuições (IKIMS, *ITER Korea Information Management System*) e um programa certificado de qualidade⁴²⁶.

3.8. Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)

Desde sua criação em 1957, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) facilita o intercâmbio de informações científicas e promove a cooperação entre seus Estados-membros para as aplicações pacíficas da energia de fusão nuclear, tal como disposto no artigo III.A, alíneas 1 a 4, de seu estatuto⁴²⁷. No caso específico dos antecedentes que levaram à criação da Organização ITER, a AIEA teve participação decisiva em ao menos dois momentos: a criação do *INTOR (International Tokamak Reactor) Workshop* em 1978 e a elaboração, sob seus auspícios, dos projetos conceitual e de engenharia do ITER entre os anos de 1988 e 2001. No acordo constitutivo da OI-ITER, o único papel formalmente reservado à AIEA é o de seu depositário⁴²⁸. Em 13 de outubro de 2008, a Organização e a Agência assinaram acordo de cooperação que prevê troca de informações entre as partes e abre a possibilidade de representação recíproca em reuniões, sem direito a voto⁴²⁹.

Desde a criação da OI-ITER em 2006, no entanto, os foros e canais mantidos pela AIEA para o incentivo à fusão nuclear não sofreram qualquer alteração e são essencialmente os mesmos apresentados no capítulo 1. Os “jogos olímpicos do plasma” (*Fusion Energy Conferences*)

425 Sítio da agência ITER-Korea na internet. Disponível em: <www.iterkorea.org>.

426 LEE, Sangil et al. *Quality Management of the ITER Korea* (apresentação).

427 Estatuto da AIEA. Disponível em: <www.iaea.org>.

428 ACORDO ITER, artigo 29, parágrafo 1º.

429 *Cooperation Agreement between the International Atomic Energy Agency and the ITER International Fusion Energy Organization*, 13 de outubro de 2008. Por coincidência, à época da assinatura do acordo, os diretores-gerais das duas organizações eram diplomatas japoneses.

continuam a ser promovidos a cada dois anos⁴³⁰ e abrem espaço para todas as rotas tecnológicas da fusão, das várias configurações de confinamento magnético ao confinamento inercial a *laser*. A AIEA edita, ainda, a revista mensal “Nuclear Fusion”, principal publicação especializada do setor, e mantém o “World Survey of Activities in Controlled Fusion Research”, além de disponibilizar base de dados científico-tecnológicos a todos os Estados-membros interessados (*Fusion Evaluated Nuclear Data Library*). Em colaboração com o *Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics* (Trieste, Itália), a AIEA também organiza cursos sobre fusão nuclear⁴³¹.

O Conselho Internacional de Pesquisa de Fusão (IFRC), criado em 1972, prossegue como órgão de assessoramento do diretor-geral para assuntos de energia de fusão e é integrado apenas por cientistas de países-membros do ITER, com uma única exceção: o Brasil (primeiro com o prof. dr. Ivan Cunha Nascimento e, desde 2006, com o prof. dr. Ricardo Galvão, ambos da Universidade de São Paulo)⁴³².

Por sugestão do IFRC, a AIEA criou em julho de 2001 um comitê internacional de física de *tokamaks* (ITPA) para coordenar atividades de pesquisa em fusão por confinamento magnético. Em fevereiro de 2008, a Organização ITER substituiu a Agência como entidade anfitriã do comitê ITPA. O gesto não teve qualquer significado político-diplomático, mas apenas refletiu o fato de que todos os cientistas participantes vinham de países-membros da OI-ITER⁴³³.

Em 2012, a AIEA passou a promover um *workshop* anual sobre os diferentes programas de reatores de demonstração. O primeiro encontro aconteceu em Los Angeles e o segundo, em Viena, na sede da organização. Segundo a apresentação da AIEA, “magnetic fusion programme has begun a transition from a fusion science activity to one

430 A Conferência de 2014 será realizada em São Petersburgo, Rússia, e corre o risco de esvaziamento em virtude da crise russo-ucraniana da Crimeia.

431 Entrevista do embaixador Laércio Vinhas ao autor, 6 de maio de 2014.

432 Página do IFRC na internet. Disponível em: <www-naweb.iaea.org/napc/physics>.

433 Sítio da Organização ITER na internet. Disponível em: <www.iter.org/org/team/fst/itpa>.

aimed at producing fusion energy on an industrial, power plant scale”, com grande potencial para novos esforços cooperativos internacionais, “even if the emphases and priorities vary from nation to nation”⁴³⁴.

Como comenta o embaixador Laércio Vinhas, não obstante a importância das atividades acima descritas, o papel da AIEA na energia de fusão é muito limitado, reflexo do número relativamente pequeno de Estados-membros com programas relevantes na área. Em termos financeiros, os recursos destinados à energia de fusão pela AIEA em 2014 limitam-se a oitocentos mil euros, 0,15% do orçamento total da Agência. O quadro de funcionários trabalhando com fusão nuclear também é reduzido⁴³⁵.

Com a entrada em operação do ITER, no entanto, essa situação tende a se alterar. Na reunião de abril de 2014 do *Standing Advisory Group on Nuclear Energy* (SAGNE), que assessora o diretor-geral da AIEA, a fusão nuclear entrou pela primeira vez na agenda. O diretor da Divisão de Física da Agência, Ralf Kaiser, apresentou na ocasião documento com proposta de estratégia para a atuação da AIEA na área de fusão nuclear. Como aponta corretamente o documento, espera-se que na próxima década, além do reator de Cadarache, tenham avançado os projetos para um ou vários reatores de demonstração – tal como indicam os *roadmaps* de, por exemplo, europeus, chineses e sul-coreanos. Esses desdobramentos deverão trazer à tona uma série de questões sobre processos regulatórios, licenciamento, segurança, gerenciamento de rejeitos e não proliferação (trítio) – e, sempre de acordo com o documento, a AIEA seria a instância mais adequada para encaminhá-las⁴³⁶.

Caso aprovada, a estratégia proposta prevê implementação em três etapas: i) fortalecimento imediato do papel do IFRC e criação de pontos focais de fusão em todos os departamentos relevantes da AIEA;

434 *Second IAEA DEMO PROGRAMME WORKSHOP 17-20 December 2013*, IAEA Headquarters, Vienna, Austria.

435 Entrevista do embaixador Laércio Vinhas ao autor, 6 de maio de 2014.

436 KAISER, Ralf. *Strategy for the Development of Fusion at the IAEA* (documento de trabalho).

ii) aumento dos recursos humanos dedicados exclusivamente à fusão a partir de 2017; iii) criação de uma divisão específica sobre o tema até 2024. O plano de Kaiser cogita, ainda, a hipótese de a Agência “take over a central role in the coordination of international activities, e.g. DEMO”⁴³⁷.

3.9. Agência Internacional de Energia (AIE)

A Agência Internacional de Energia (AIE) estabeleceu em 1975 o Comitê de Coordenação de Energia de Fusão (FPCC), uma plataforma com a missão de promover entre os membros da OCDE a pesquisa e desenvolvimento em energia de fusão nuclear. O FPCC supervisiona as atividades das oito iniciativas tecnológicas da AIE na área de fusão (grandes *tokamaks*, *diversores*, interações com o plasma, novos materiais, tecnologia de reatores, viabilidade econômica e ambiental, *stellarators* e máquinas *pinch*). Essas iniciativas funcionam como redes informais de pesquisa, com escassos resultados⁴³⁸.

O FPCC tem dezesseis membros da AIE e a Euratom como participantes regulares de suas reuniões ou como parceiros de uma ou mais iniciativas tecnológicas. Os membros da OI-ITER que não fazem parte da OCDE (China, Federação Russa e Índia) tem-se aproximado do órgão em questões pontuais, em especial na iniciativa tecnológica para grandes *tokamaks*. Em março de 2008, no marco de estratégia mais ampla de *outreach* da OCDE, a AIE aprovou convite para que Brasil, China, Índia, México e África do Sul passem a integrar o FPCC como observadores especiais⁴³⁹. O convite ao Brasil tem sido reiterado desde então, sobretudo por intermédio da Euratom, mas segue sem resposta⁴⁴⁰.

437 *Ibid.*

438 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). *Technology options: fusion power*, p. 2.

439 Minuta da 39ª Reunião do FPCC, 23-24 de fevereiro de 2010.

440 Entrevista do Engenheiro Alejandro Zurita (EURATOM) ao autor, 6 de maio de 2014.

Em seu mais recente plano estratégico, o FPCC sugere maior envolvimento da Agência Internacional de Energia nos programas de desenvolvimento dos reatores de demonstração. No documento, o órgão ressalta que o

DEMO must provide energy producers with the confidence to invest in commercial fusion as their next generation power plant, i.e., demonstrate that fusion is affordable, reliable, profitable, and meets public acceptance [and] it must also convince public and government agencies that fusion is secure, safe, has a low environmental impact, and does not deplete natural resources.

A AIE tenta, assim, posicionar-se para ocupar uma posição de maior relevo na definição dos próximos passos internacionais da energia de fusão⁴⁴¹.

⁴⁴¹ Vide *Fusion power co-ordinating committee strategic plan 2012-2014*.



Capítulo 4

O destino: rumo à “era da energia de fusão”

O caminho para a aplicação prática da fusão nuclear pode ser longo e difícil, mas, como o destino é extraordinário, não faltarão interessados em trilhá-lo.

[...]

Quando se está escalando uma montanha, até chegar ao topo, você nunca tem realmente a certeza se vai conseguir chegar. (L. SPITZER, físico e inventor do stellarator)⁴⁴²

Os membros da Organização ITER esperam que os testes realizados na fase de operação do reator de Cadarache, a partir de 2020, pavimentem o caminho para o desenvolvimento de um ou mais modelos de reatores de demonstração (DEMO) – o último passo antes das usinas comerciais. Enquanto o ITER, uma máquina experimental, visa a demonstrar a viabilidade científica e tecnológica da energia de fusão e tem como metas a produção de 500 MWt de potência térmica em pulsos de quatrocentos segundos, o DEMO terá de demonstrar a viabilidade econômica e operacional, com a produção de cerca de 1,5 GWe de eletricidade em bases contínuas.

Embora estejam fora do escopo do acordo constitutivo de 2006, os reatores de demonstração e as usinas comerciais de fusão constituem, de certa forma, o objetivo último da Organização ITER. Diante dos grandes obstáculos tecnológicos a superar, não obstante as tendências isolacionistas de alguns dos *roadmaps* apresentados no capítulo anterior, é possível que o desenvolvimento do DEMO venha a

⁴⁴² Apud WILLIS, John. *Bringing a star to earth* (apresentação) e HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 238. Tradução do autor, com adaptações.

ser objeto de novos esforços cooperativos internacionais. As recentes movimentações na Agência Internacional de Energia Atômica e na Agência Internacional de Energia são sintomáticas. O mais provável, portanto, é que a longa jornada em busca da energia de fusão imponha novos desafios às diplomacias científico-tecnológicas dos membros da OI-ITER e de outros países com potencial interesse no tema, como o Brasil⁴⁴³.

4.1. Próximos passos: a “Abordagem Ampla” e o cenário “multi-DEMO”

O primeiro exemplo concreto de abordagem internacional para os próximos passos começou a ser dado quase em paralelo à criação da Organização ITER, durante as negociações entre europeus e japoneses para viabilizar a escolha de Cadarache, em detrimento de Rokkasho. Como parte de um pacote de compensações, os dois lados concordaram em estabelecer parceria para atividades complementares ao ITER, em instalações localizadas exclusivamente em território nipônico. Em 22 de novembro de 2006, um dia depois da assinatura do acordo constitutivo da OI-ITER, Euratom e Japão definiram os termos de referência de sua parceria especial e, em 5 de fevereiro de 2007, assinaram o “Acordo para Implementação Conjunta de Atividades de Abordagem Ampla (*Broader Approach*) na Área de Pesquisa da Energia de Fusão”.

A “Abordagem Ampla” é praticamente uma organização internacional independente, uma vez que seu Comitê Coordenador (*Steering Committee*) possui personalidade jurídica internacional própria⁴⁴⁴. Sua estrutura espelha a OI-ITER, com direito a um Secretariado Técnico permanente e Comitês de Projeto. Seu *modus*

443 O certo é que os futuros reatores de demonstração e os comerciais manterão ao menos um vínculo direto com a OI-ITER: a propriedade intelectual gerada pelo projeto de Cadarache.

444 ACORDO EURATOM-JAPÃO DE ABORDAGEM AMPLA, artigo 3º, parágrafo 3º.

operandi inclui os conceitos das Agências Domésticas (no caso, as mesmas ADs do ITER: a europeia F4E e a japonesa JAEA), das contribuições em espécie por meio de arranjos licitatórios e de uma unidade de conta própria (a BAUA), além de regras quase idênticas para a propriedade intelectual.

A parceria Euratom-Japão no âmbito da “Abordagem Ampla” tem dois objetivos programáticos: i) contribuir para a melhor e mais eficiente exploração científica do ITER; e ii) conduzir série de atividades preparatórias para o desenvolvimento de um reator de demonstração. O primeiro objetivo tem como instrumento uma iniciativa de *tokamaks* satélites do ITER, que se resume na prática à modernização, ao custo de 350 milhões de euros, do antigo JT-60, localizado em Naka. O novo reator experimental japonês também terá campos magnéticos gerados por bobinas supercondutoras e fará pesquisas complementares às do ITER. Para o segundo objetivo, mais ambicioso, foram previstos dois projetos: o Centro Internacional de Pesquisa em Energia de Fusão (IFERC) e a Instalação Internacional para a Irradiação de Materiais de Fusão (IFMIF)⁴⁴⁵.

Localizado no complexo nuclear de Rokkasho (seiscentos quilômetros ao norte de Tóquio), o IFERC visa a coordenar os estudos para a elaboração do projeto conceitual do reator de demonstração e conta, desde 2012, com o supercomputador europeu “Helios”, fabricado pela francesa Bull e projetado para simular cenários de plasmas em uma usina comercial de fusão⁴⁴⁶. O “Helios” está entre os trinta computadores mais potentes do mundo, com 1,5 petaflops⁴⁴⁷. O IFERC deverá manter, ainda, um centro de experimentação remota do reator de Cadarache, uma espécie de “ITER virtual” à disposição dos cientistas japoneses. Seu custo total é estimado em 210 milhões de euros.

445 COMITÊ COORDENADOR DA ABORDAGEM AMPLA. 2010 *Progress Report of the Broader Approach Activities*.

446 “ITER Newslite”, 3 de fevereiro de 2012.

447 Telegrama 597, de 17 de abril de 2012, da Embaixada do Brasil em Paris.

Quanto à IFMIF, a “Abordagem Ampla” contempla tão somente a elaboração do projeto de engenharia e de protótipos, também no complexo de Rokkasho. Por questões financeiras, a decisão da construção de suas instalações definitivas só será tomada depois de 2017⁴⁴⁸. O custo apenas do projeto de engenharia e dos protótipos deverá superar a casa dos cem milhões de euros⁴⁴⁹. Caso construída, a IFMIF será basicamente um acelerador linear de nêutrons para simular as condições de um reator comercial e testar a resistência de seus mais promissores materiais estruturais, entre os quais o ODS-EUROFER. Terá, ainda, papel relevante na pesquisa e desenvolvimento do uso de lítio e do berílio nos módulos da camada fértil. Alguns países – em especial os Estados Unidos – consideram a IFMIF uma iniciativa supérflua, pois seu papel poderia ser teoricamente suprido por instalações já existentes, seja um reator de fissão, seja uma fonte de espalação de nêutrons, como a SNS de Oak Ridge (um projeto coordenado por William Madia, que, como vimos, foi o responsável pela mais recente avaliação independente de gestão da Organização ITER).

Nos termos do artigo 22 do acordo Euratom-Japão de 2007, a “Abordagem Ampla” deverá ter duração inicial de dez anos, com prorrogações semestrais automáticas caso nenhuma Parte opte pela denúncia. Tendo em vista os atrasos causados pelo grande terremoto e maremoto japonês de março de 2011 e as alterações no cronograma do ITER, é provável que as duas Partes decidam por sua prorrogação, mas, por enquanto, o ano de 2017 continua a servir como marco de referência para os trabalhos da IFMIF e do IFERC.

Em tese, a “Abordagem Ampla” encontra-se aberta à participação de outros membros da Organização ITER⁴⁵⁰ e poderia ser transformada no embrião de um consórcio internacional para

448 “ITER Newline”, 18 de fevereiro de 2013.

449 As estimativas de custo foram feitas com base no relatório da “Abordagem Ampla” para 2010.

450 ACORDO EURATOM-JAPÃO DE ABORDAGEM AMPLA, artigo 25.

a elaboração do projeto de engenharia do DEMO e a construção do primeiro reator no início da década de 2040, coincidindo assim com a fase final de exploração do ITER. No momento, tudo indica que europeus e japoneses deverão seguir trabalhando em conjunto, talvez com base em uma versão atualizada do acordo de 2007, mas, como vimos no capítulo anterior, os cinco demais participantes da OI-ITER não parecem muito dispostos a trilhar o mesmo caminho. A Euratom parte dessa premissa e, na implementação de seu próprio *roadmap*, já trabalha com um cenário competitivo batizado de “multi-DEMO”⁴⁵¹, a ser provavelmente inaugurado pela República da Coreia. O fato é que esse quadro de incertezas e indefinições abre oportunidades para o surgimento de novos formatos e novos atores internacionais na energia de fusão, entre os quais o Brasil.

Não obstante os avanços e os testes que serão proporcionados pelo reator experimental de Cadarache, bem como por satélites como o antigo JET europeu e o novo JT-60 nipônico, os projetos do cenário “multi-DEMO” ainda dependerão de significativo esforço complementar de pesquisa, desenvolvimento e inovação em áreas como a da camada fértil e a dos materiais especiais de baixa ativação e alta resistência à irradiação de nêutrons⁴⁵². Sem solução econômica e tecnologicamente viável para essas questões, jamais haverá um reator de demonstração e muito menos um comercial. A produção *in situ* de trítio é considerada como a única perspectiva realista para a utilização do combustível DT, a essência da fusão nuclear, e a questão da resistência dos materiais é chave para assegurar às usinas de fusão um fator de capacidade igual ou superior a 70%, comparável ao dos atuais reatores comerciais de fissão nuclear, além de uma vida útil de pelo menos trinta anos.

451 Vide apresentação de David Maisonnier, da DG Pesquisa da Comissão Europeia, em seminário realizado em Princeton (EUA), em setembro de 2011, sobre “MFE Roadmapping in the ITER Era”. Disponível em: <m.iopscience.iop.org>.

452 RUBEL, M. *Fusion reactor materials and components: issues related to radioactivity and radiation induced effects* (artigo). Os nêutrons da fusão não apenas ativam os materiais irradiados, como causam sérios danos estruturais ao deslocar a posição dos átomos.

É precisamente na energia nuclear “convencional”, a de fissão, que se encontra possibilidade mais imediata de aplicação da fusão nuclear: os chamados reatores híbridos. Na década de 1990, em seus últimos anos de vida, Edward Teller tornou-se entusiasta da ideia⁴⁵³, que, na década seguinte, ganharia o apoio do criador do JET e pioneiro do ITER, o francês Paul-Henri Rebut. Em polêmico artigo publicado em 2006, poucos dias antes da assinatura do acordo constitutivo da OI-ITER, Rebut defendeu que “for fusion financing to continue, it is important that fusion should have some use quickly”⁴⁵⁴. Esse “uso rápido”, na opinião do físico francês, seria idealmente uma tecnologia de “ponte” entre a fusão e a fissão, um modelo no qual os nêutrons gerados pelas reações termonucleares irradiariam módulos com quantidades subcríticas de urânio natural ou tório (em termos práticos, a energia viria da fissão, mas com maior segurança operacional e sem a necessidade de enriquecimento de urânio). O desenvolvimento desses híbridos seria relativamente menos demorado, na medida em que os desafios do trítio e dos materiais perderiam relevância pela maior eficiência do processo. Mesmo um reator com as dimensões e características do ITER seria capaz de gerar mais de 4,5 GWt de potência térmica nesse formato fusão-fissão (contra apenas 450 MW de energia líquida no formato exclusivo de fusão)⁴⁵⁵.

A argumentação de Paul-Henri Rebut pode até fazer sentido de um ângulo exclusivamente técnico, mas é um *non-starter* do ponto de vista político-diplomático, sobretudo para europeus e japoneses, pois retiraria da fusão seu selo de energia “inesgotável, limpa, segura e não proliferante”. Como vimos no capítulo 3, a Rússia é o membro da Organização ITER mais propenso a seguir esse caminho. Existe, ainda, a possibilidade de que a Índia venha a utilizar um reator de fusão-fissão

453 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 182.

454 REBUT, Paul-Henri. *From JET to the reactor* (artigo).

455 *Ibid.*

para aproveitar suas vastas reservas de tório⁴⁵⁶. De qualquer forma, até mesmo um reator comercial híbrido de fusão-fissão demandaria de vinte a trinta anos para se tornar realidade⁴⁵⁷.

No presente, assim como no início da década de 1960, os estudantes de graduação de física ou de engenharia continuarão a ouvir em suas universidades que a fusão nuclear, fonte virtualmente inesgotável de energia, será uma solução para os problemas energéticos da humanidade “dentro de trinta anos”. A Organização ITER indica o caminho para que essa previsão enfim se concretize em um prazo de três décadas, mas o fim da jornada pelo domínio da fusão nuclear controlada ainda dependerá das “abordagens amplas” e, muito provavelmente, de outras iniciativas internacionais.

4.2. O porquê da energia de fusão: entre a panaceia e a quimera

Em 1972, quatro anos após introduzir o *tokamak* à comunidade científica internacional, o físico russo Lev Artsimovitch disse que “a fusão estará pronta quando a sociedade precisar dela”⁴⁵⁸. A frase embute o raciocínio de que a determinação política e os vultosos recursos humanos e financeiros necessários à pesquisa e ao desenvolvimento da fusão nuclear estarão disponíveis em proporção direta às necessidades concretas nos planos econômico, social ou ambiental. Por coincidência, naquele mesmo ano de 1972, as Nações Unidas promoveram em Estocolmo a primeira de uma série de grandes conferências internacionais que levariam a questão do desenvolvimento sustentável ao centro da agenda global. Na mais recente dessas reuniões, a Rio+20, realizada em junho de 2012, os líderes mundiais reconheceram o papel

456 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Informação sobre tório*, versão de março de 2014. Disponível em: <www.world-nuclear.org/info>.

457 REBUT, Paul-Henri, *op. cit.*

458 Revista “The New Yorker”, 3 de março de 2014.

crucial da energia nesse contexto. Como plasmado na declaração sobre o “Futuro que queremos”:

*We recognize the critical role that energy plays in the development process, as access to sustainable modern energy services contributes to poverty eradication, saves lives, improves health and helps provide basic human needs. We stress that these services are essential to social inclusion and gender equality, and that energy is also a key input to production. We commit to facilitate support for access to these services by 1.4 billion people worldwide who are currently without these services. We recognize that access to these services is critical for achieving sustainable development. [...] We reaffirm support for the implementation of national and sub-national policies and strategies, based on individual national circumstances and development aspirations, using an appropriate energy mix to meet developmental needs, including through increased use of renewable energy sources and other low-emission technologies, the more efficient use of energy, greater reliance on advanced energy technologies [...] [and] urge governments to create enabling environments that facilitate public and private sector investment in relevant and needed cleaner energy technologies (grifos nossos)*⁴⁵⁹.

Na máxima de Hyman Rickover, outro pioneiro da energia nuclear (no caso, da fissão), “it is not the essential nature of a technology that matters but its capacity to fit into the social, political, and economic conditions of the day”⁴⁶⁰. Embora esteja longe de constituir resposta imediata aos prementes desafios listados pela Rio+20, a fusão nuclear ganhou nesta década *momentum* inédito ao oferecer instigante alternativa para o encaminhamento de duas questões-chave da sustentabilidade no século XXI, ambas com evidente repercussão para as relações internacionais: a universalização do acesso à energia – em

459 Declaração final da Conferência da ONU sobre Desenvolvimento Sustentável, Rio+20. Disponível em: <www.uncsd2012.org/content/documents>.

460 Revista “The Economist”, reportagem especial sobre energia nuclear, 10 de março de 2012.

especial, à eletricidade – e a substituição das fontes fósseis que marcaram o crescimento econômico global nos dois séculos anteriores – seja por conta de seu impacto na mudança do clima, seja por suas perspectivas de esgotamento (mais concretas no caso do petróleo, como apontam os defensores da teoria do *peak oil*). Visto por esse ângulo, o trabalho da OI-ITER poderá representar elemento essencial na viabilização de um novo e incontornável paradigma energético. Conforme pontificou em tom cáustico o atual presidente de seu conselho, o estadunidense Robert Iotti: “I think ITER is an absolute necessity for the world – otherwise I wouldn’t put up with the frustrations”⁴⁶¹.

Ao analisarmos no capítulo anterior as motivações dos membros do ITER, vimos a clara relação entre consumo de energia e o desenvolvimento. Essa relação fica ainda mais evidente ao compararmos os índices *per capita* de consumo de eletricidade (em MWh por habitante) e de oferta interna de energia (em toneladas equivalentes de petróleo por habitante) em países selecionados, incluindo o Brasil e os membros do ITER (Bulgária, Finlândia, França, Portugal e Romênia, para ilustrar o caso da Euratom)⁴⁶²:

Nigéria	0,4 MWh/hab.	0,7 tep/hab.
Índia	0,6 MWh/hab.	0,6 tep/hab.
Indonésia	0,7 MWh/hab.	0,9 tep/hab.
Romênia	2,5 MWh/hab.	1,7 tep/hab.
Turquia	2,7 MWh/hab.	1,5 tep/hab.
Brasil	2,9 MWh/hab.	1,4 tep/hab.
China	3,3 MWh/hab.	2,0 tep/hab.
Bulgária	4,7 MWh/hab.	2,5 tep/hab.
Portugal	4,8 MWh/hab.	2,2 tep/hab.
Rússia	6,5 MWh/hab.	5,1 tep/hab.
França	7,3 MWh/hab.	3,9 tep/hab.
Japão	7,8 MWh/hab.	3,6 tep/hab.
República da Coreia	10,1 MWh/hab.	5,2 tep/hab.
Estados Unidos	13,2 MWh/hab.	7,0 tep/hab.
Finlândia	15,7 MWh/hab.	6,4 tep/hab.

461 Revista “The New Yorker”, 3 de março de 2014.

462 Dados para 2011 da AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. 2013 *Key World Energy Statistics*.

Assim, no caso da eletricidade, é possível observar que o consumo médio do estadunidense é cerca de quatro vezes maior que o de um chinês, quatro vezes e meia o do brasileiro, mais de vinte vezes o do indiano e mais de trinta vezes o do nigeriano⁴⁶³. Desde 1980, o consumo per capita de eletricidade nos EUA praticamente dobrou, e deverá dobrar novamente até 2030, ultrapassando os 25 MWh por habitante⁴⁶⁴. No mundo desenvolvido, esse aumento será consequência natural de um estilo de vida e de consumo crescentemente dominado por eletroeletrônicos, incluindo expressiva frota de carros elétricos ou de células de combustível. No mundo em desenvolvimento, mesmo com ganhos em eficiência e saltos tecnológicos que permitam usufruir de parte das benesses da vida moderna sem a prodigalidade estadunidense, o aumento será consequência natural da inclusão social de bilhões de pessoas. Como se lê na declaração da Rio+20, há hoje ao menos 1,4 bilhão de seres humanos sem acesso à luz elétrica – e cerca de dois bilhões com níveis mínimos de consumo de eletricidade.

Na era da *world wide web* (que, como vimos na introdução, constitui *spin-off* de uma organização internacional comparável à OI-ITER), é possível afirmar, sem qualquer exagero, que a eletricidade tornou-se um dos grandes vetores de inclusão social e, portanto, de desenvolvimento. Parafraseando o escritor estadunidense Daniel Yergin, um livro como este, há trinta anos, teria sido datilografado em uma máquina de escrever, com cópias em papel carbono, e seria fruto de centenas de visitas a bibliotecas ou centros de pesquisa. Hoje, é escrito no computador, com múltiplas cópias produzidas em impressoras eletrônicas e é fruto de pesquisa em bibliotecas, mas também em livros eletrônicos e em terabytes de informação na internet. Jonathan Tennenbaum, um dos grandes defensores do “renascimento nuclear”, chega mesmo a afirmar que o mundo está às vésperas de uma segunda

463 Há um mapa com os países de maior consumo *per capita* de eletricidade (superior a 5 MWh/hab.) nos anexos.

464 YERGIN, Daniel. *The quest: energy, security and the remaking of the modern world*, p. 396.

“era de eletrificação”⁴⁶⁵, nem tanto pelos computadores ou pelos carros elétricos dos países desenvolvidos, mas principalmente pelas necessidades dos países em desenvolvimento: da inclusão de milhões no mercado de consumo de eletrodomésticos ao transporte urbano e interurbano de massa, da vital dessalinização da água aos confortos do ar condicionado (este, na avaliação do ex-primeiro ministro de Cingapura Lee Kuan Yew, “the most important invention of the 20th century”⁴⁶⁶).

A eletricidade pode ser considerada vetor de inclusão social do ponto de vista do político ou do diplomata, mas, para o cientista ou o engenheiro, ela é sobretudo um vetor energético, um formato para transmitir a energia gerada a partir de alguma fonte primária, limpa ou não, até o local de consumo (ou, no caso de uma bateria, de armazenamento)⁴⁶⁷. Tal como indica Yergin, “the centrality of electricity makes the matter of fuel choice and meeting future power needs one of the most fundamental issues for the global economy”⁴⁶⁸. Em termos absolutos, essa demanda poderá exigir, até 2030, um aumento de até dois mil GWe na capacidade instalada de geração elétrica em todo o mundo⁴⁶⁹. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030, somente o Brasil seria responsável por entre 90 e 110 GWe desse total global⁴⁷⁰, o equivalente em potência instalada a cerca de nove Belo Montes ou mais de trezentos parques eólicos como os de Osório, no Rio Grande do Sul, o maior do Hemisfério Sul⁴⁷¹.

A “questão da escolha do combustível”, na formulação de Yergin, é fundamental, sobretudo porque a operação contínua e confiável

465 TENNENBAUM, Jonathan. *Energia nuclear: dínamo da reconstrução econômica mundial*, p. 7 e 98.

466 YERGIN, Daniel, *op. cit.*, p. 628.

467 Esse papel poderá ser um dia exercido pelo gás hidrogênio, o H², que não deve ser confundido com o combustível deutério-trítio.

468 *Ibid.*, p. 397.

469 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). *World energy outlook 2011*, p. 447.

470 EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030*, p. 56.

471 *Vide* sítio da Elecnor Renováveis. Disponível em: <www.enerfin.es/pt/projetos>.

de um sistema elétrico exige *baseload*, a energia firme de base⁴⁷². No Brasil, esse papel é exercido principalmente pela energia hidroelétrica; na França, pela energia nuclear de fissão; nos EUA e na China, por termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Em todo o planeta, a contribuição de fontes renováveis intermitentes como a energia eólica ou a solar fotovoltaica será de grande relevo, mas, justamente por sua intermitência, essas alternativas têm natureza complementar e não se afiguram viáveis para suprir a base do projetado aumento de demanda elétrica⁴⁷³.

O Brasil ainda tem potencial hidroelétrico a explorar até 2035 (aproximadamente 77 GWe, descontados os aproveitamentos em parques e florestas nacionais ou terras indígenas), mas, em países como EUA, China e Índia, a lógica econômica favorece o emprego como *baseload* de termelétricas movidas, por exemplo, a carvão – uma tecnologia madura e uma fonte com reservas mais que suficientes para as necessidades do corrente século. O problema está, claro, nos altos custos ambientais de tal fonte e, em particular, suas consequências funestas para o aquecimento global, “a cross-cutting and persistent crisis [...] [that] undermine the ability of all countries, in particular, developing countries, to achieve sustainable development and the MDGs and threaten the viability and survival of nations”⁴⁷⁴. Na ausência de tecnologias confiáveis de captura e armazenamento de carbono (CCS), a ênfase em fontes fósseis para acompanhar a demanda elétrica estará na contramão dos alertas contidos nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). No mais recente (AR5), o IPCC chama a atenção para o fato de que:

Cumulative emissions of CO2 largely determine global mean surface warming by the late 21st century and beyond. Most aspects of climate

472 VEIGA, José Eli da (Org.). *Energia nuclear: do anátema ao diálogo*, p. 21-22.

473 YERGIN, Daniel, *op. cit.*, p. 3.

474 Declaração final da Conferência da ONU sobre Desenvolvimento Sustentável, Rio+20.

change will persist for many centuries even if emissions of CO₂ are stopped. *This represents a substantial multi-century climate change commitment created by past, present and future emissions of CO₂ (grifo nosso)*⁴⁷⁵.

A energia de fissão nuclear, outra tecnologia madura, está certamente entre as respostas a esse triplo desafio de ampliar a base da oferta de energia elétrica, substituir fontes fósseis poluentes e esgotáveis, bem como evitar o aumento das emissões de gases do efeito estufa. O Brasil, não bastasse seu expressivo potencial hidroelétrico a explorar, ainda ostenta uma das sete maiores reservas mundiais de urânio e, graças ao programa de propulsão nuclear da Marinha, domina o ciclo do combustível e a tecnologia de reatores nucleoeletrônicos. Quando, e se o desejar, terá todas as condições para se tornar protagonista do mercado internacional da fissão nuclear – assim como o são hoje ao menos cinco membros da OI-ITER: a Rússia (o único com tecnologia e grandes reservas de urânio), os EUA, o Japão, a República da Coreia e a França (com tecnologia avançada, mas com reservas escassas ou inexistentes). Sem entrar no mérito desse debate, basta apenas citar o nome de Fukushima para entender a razão da perda de *momentum* pela energia de fissão no início da corrente década⁴⁷⁶.

De acordo com as previsões da ONU, a população mundial chegará a 8,5 bilhões em 2030, a 9,5 bilhões em 2050 e a 10,8 bilhões em 2100⁴⁷⁷. As consequências para a demanda de energia são evidentes. Se reconhecermos os limites das novas energias renováveis e descartarmos as fontes fósseis ou a fissão nuclear – e supondo que não surja avanço revolucionário nas próximas três décadas –, a

475 PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Summary for Policymakers*, p. 27.

476 Este livro, porém, não se propõe a discutir as vantagens ou as desvantagens para o Brasil ou para o mundo da energia nuclear “convencional”, baseada na fissão. Para tanto, recomenda-se a leitura do livro organizado por José Eli da Veiga (*Energia nuclear: do anátema ao diálogo*).

477 NAÇÕES UNIDAS. *World population 2012*.

fusão nuclear aparece como alternativa das mais convenientes para o *baseload* dos sistemas elétricos pós-2050 e para a mitigação parcial do cenário de *multi-century climate change* previsto pelo IPCC. É alternativa promissora também para uma eventual economia do hidrogênio, com o emprego do gás H₂ como vetor energético, em progressiva substituição à eletricidade⁴⁷⁸.

Na comparação com as termelétricas a fissão nuclear, a energia de fusão tem ainda a vantagem da segurança em seu duplo sentido em inglês de *safety* e *security*. Um *tokamak* do padrão ITER é intrinsecamente seguro na medida em que – mesmo em caso de explosão como a de Chernobyl em 1986 ou de catástrofe natural como o maremoto japonês de março de 2011 – *melt-downs* ou nuvens radioativas são impossíveis (como vimos, as quantidades de combustível são ínfimas e o plasma se resfria rapidamente sem o adequado confinamento, em clássico exemplo de segurança passiva). Do ponto de vista da não proliferação, descartada a hipótese dos híbridos fusão-fissão, um reator termonuclear não gera nem precisa de materiais físséis utilizáveis em artefatos explosivos. O trítio pode servir de combustível para a bomba-H e para bombas do tipo *boosted*, mas é quase inofensivo sem a bomba primária de fissão que o leve à ignição. Conforme resume o físico britânico William Nuttall:

Even in a scenario of nuclear weapons proliferation it is possible that tritium might remain as a material of only modest concern because the spread of thermonuclear fusion-boosted weapons might be prevented purely via the prevention of the spread of basic nuclear weapons technology. Such long-standing proliferation prevention methods rely on safeguards against the spread of special nuclear materials – essentially plutonium and highly enriched uranium. Without such materials, fission weapons and boosted fission weapons cannot exist. At present, tritium is not a material controlled by strong international

478 A empresa estadunidense General Atomics desenvolveu o conceito da “Fusion Island”, um reator de fusão especializado na produção de H₂.

safeguards. It has numerous industrial applications and is difficult to inventory because it tends to be absorbed into metals and other structures⁴⁷⁹.

Quanto aos rejeitos, embora não processe elementos com a meia-vida do urânio-235 (setecentos milhões de anos), um reator de fusão terá de lidar com o trítio (com meia-vida de doze anos) e apresentará a desvantagem da ativação de seus materiais, o que transformaria a máquina inteira, após sua vida útil, em um rejeito nuclear – a ser isolado pelo prazo mínimo de um século. Na comparação com as necessidades do gerenciamento dos rejeitos da fissão, contudo, esse seria um problema de menor dimensão⁴⁸⁰.

No cômputo geral, a energia de fissão e a energia de fusão cumpririam papéis semelhantes em um novo paradigma energético, mas esta contaria com maior potencial de aceitação social na medida em que, na teoria, seria mais segura e “não proliferante”. Foi justamente para se livrar do suposto “estigma” da fissão nuclear que a OI-ITER proscreeu a palavra “nuclear” de seus documentos públicos e abraçou de forma exclusiva o termo “energia de fusão”. Sem desmerecer as considerações de ordem psicológica e mercadológica, o fato é que a energia de fusão é – e sempre será – uma das formas da energia contida no núcleo de um átomo, ou seja, de energia nuclear, com todos os seus riscos e oportunidades. Além disso, como vimos no capítulo anterior, os membros da OI-ITER – exceção feita à Euratom – parecem investir em uma espécie de abordagem não excludente e evolutiva da fissão à fusão nuclear. Essa evolução seria qualitativa e quantitativa, resultando não apenas do maior conteúdo tecnológico e da maior densidade energética da fusão, mas também de sua virtual condição de “energia

479 NUTTALL, W. J. *Fusion as an energy source: challenges and opportunities*, p. 15.

480 *Ibid.*

limpa e inesgotável” (enquanto o urânio e o tório são materiais físséis e esgotáveis, o hidrogênio é o mais abundante elemento do universo)⁴⁸¹.

Nenhuma dessas vantagens, práticas ou teóricas, servirá se, mesmo depois de encontradas as soluções tecnológicas aos desafios do trítio e dos novos materiais, a fusão nuclear não se revelar competitiva pelo prisma econômico. Como disse certa vez o físico Lawrence Lidsky, do MIT, “fusion problem is not if it will work, but if it will sell”⁴⁸². Se pensarmos exclusivamente no combustível, as perspectivas são excelentes, pois bastam cem quilos de deutério (retirados da água do mar) e quatro toneladas de lítio para as necessidades anuais de um reator nucleoeletrico de 1 GWe – potência que hoje exige duas milhões de toneladas de carvão, dez milhões de barris de petróleo ou cem toneladas de urânio⁴⁸³. A maior parte do custo do kWh da fusão virá, portanto, do capital inicial investido na construção e de uma manutenção provavelmente dispendiosa, que tende a deixar o fator de capacidade em patamar inferior ao de um reator de fissão. De acordo com extrapolações feitas pela Agência Internacional de Energia a partir do orçamento estimado para a construção do reator de Cadarache, “the projected cost of fusion electricity is comparable to that of other environmentally responsible sources, thus ensuring it a significant share of the market by the end of the century”⁴⁸⁴.

Como em tantos outros aspectos da energia de fusão, o tema da competitividade econômica está longe de ser uma unanimidade. Em artigo publicado na revista “Science” em 2006, o engenheiro estadunidense William Parkins, veterano do *Manhattan Project*, estimou em quinze bilhões de dólares o custo de um reator de fusão de 1 GWe, o que corresponderia, nos EUA, à comercialização do kWh

481 A fusão nuclear como fonte realmente inesgotável de energia depende de reatores que funcionem apenas com deutério. Ao utilizar o trítio em ciclo fechado, reatores do padrão ITER dependerão de outro “combustível” esgotável, o lítio. Cumpre mencionar que reatores regenerativos de fissão também transformariam urânio e tório em fontes virtualmente inesgotáveis, mas aumentariam sensivelmente os riscos de proliferação.

482 HERMAN, Robin, *op. cit.*, p. 189.

483 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Technology options: fusion power*, p. 6.

484 *Ibid.*

por 36 centavos de dólar – proibitivo para os padrões locais, mas competitivo em mercados como o europeu ou o japonês. O artigo serviu de munição aos que enxergam na fusão nuclear “the power of the future, always of the future”⁴⁸⁵. A verdade é que calcular o custo do kWh de uma fonte disponível, na melhor das hipóteses, a partir de 2050 constitui tarefa para futurólogos. Os cenários são múltiplos e estão diretamente vinculados ao volume dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Como observa o sociólogo italiano Andrea Prontera, “energy issues exhibit a high technical and scientific content [...] [and] technological innovations can redefine the actors that participate in the policy-making, the relations among them, and the distribution of resources within the energy policy networks”⁴⁸⁶.

A fusão nuclear poderá desempenhar papel relevante, mas não será a panaceia para o desenvolvimento sustentável e para a universalização do acesso à energia até o final deste século, desafios que exigirão respostas múltiplas e adaptadas às realidades de cada país ou região do globo. O deutério pode existir em abundância na água dos oceanos, mas até sua extração exige tecnologia avançada – para não falar dos recursos tecnológicos e financeiros empregados na construção, operação e manutenção de um grande *tokamak* e de sua camada fértil de lítio. Para os membros da OI-ITER, no entanto, a fusão está mais próxima de se transformar em realidade. Não só deixará de ser uma quimera tecnológica, como poderá abrir as portas de nova era intensiva em conhecimento e em energia – e, na visão realista de um engenheiro militar do porte de Hyman Rickover, conhecimento e energia sempre foram pré-requisitos de poder. Graças à Organização ITER, a fusão nuclear promete constituir, acima de tudo, um exemplo de concentração de poder no presente século.

485 “Financial Times”, 9 de novembro de 2007.

486 PRONTERA, Andrea. *Energy policy: concepts, actors, instruments and recent developments* (artigo).



Capítulo 5

O caminho do Brasil

É claro que um programa destinado a pôr em execução uma sadia política de pesquisa científica implica, necessariamente, dispêndio de dotações orçamentárias adequadas. Mas esse esforço da Nação contribuirá, mais do que qualquer outro para, mediante o progresso da ciência, robustecer a saúde moral e física de nossa gente, elevando-lhe o padrão de vida e o prestígio entre os povos cultos. (Almirante ÁLVARO ALBERTO)⁴⁸⁷

O Brasil, em razão de fatores objetivos, tem um destino de grandeza, ainda relativa em nossos dias, ao qual não terá como se furtar, e isso lhe impõe a obrigação de encarar o seu papel no mundo em termos prospectivos fundamentalmente ambiciosos. Digo ambição no sentido de vastidão de interesses e escopo de atuação, e não no desejo de hegemonia ou de preponderância. (Embaixador AZEREDO DA SILVEIRA)⁴⁸⁸

À diferença dos países-membros da Organização ITER, o Brasil caracteriza-se por uma das mais limpas matrizes energéticas e elétricas do mundo e pelas perspectivas de se transformar em exportador líquido de energia já na próxima década. Como sintetiza a Agência Internacional de Energia no *World Energy Outlook 2013*, em seção especialmente dedicada ao Brasil:

487 *Apud* Revista “Parcerias Estratégicas”, março de 2001.

488 *Apud* SPEKTOR, Matias (Org.). *Azeredo da Silveira*: um depoimento.

– *Brazil's resources are abundant and diverse; their development over the coming decades moves the country into the top ranks of global energy producers. More super-giant fields have been discovered in Brazil over the last ten years than in any other country. These offshore discoveries have confirmed Brazil's status as one of the world's foremost oil and gas provinces. But Brazil's resources are not limited to hydrocarbons: it has an estimated 245 GW of hydropower potential (around two-thirds of which has yet to be developed), wind power potential approaching 350 GW and considerable solar potential.*

– *Brazil's energy sector undergoes a huge expansion between now and 2035. It plays a central role in meeting the world's oil needs through to 2035, accounting for one-third of the net growth in global supply [...]. Brazil's oil production rises from 2.2 mb/d in 2012 to 4.1 mb/d in 2020 and to 6 mb/d in 2035, making it the world's sixth-largest oil producer in 2035.*

– *Brazil's primary energy demand rises by 80% [...] to reach 480 Mtoe in 2035, spurring and accompanying steady growth in economic output. Consumption in the end-use sectors has doubled since 1990, and is set to grow robustly, led by industry (80% increase), followed by transport (77%) and buildings (66%). Brazil achieves its goal of providing universal energy access early in the projection period. Electricity demand doubles to reach 940 TWh in 2035.*

– *Brazil's production of biofuels expands more than three-fold to 1 million barrels of oil equivalent per day in 2035. Suitable cultivation zones are more than sufficient to achieve this expansion in supply without impinging upon environmentally sensitive areas. Sugarcane ethanol continues to dominate biofuels, with over 80% of the total.*

[...]

– *Brazil's energy sector remains one of the least carbon-intensive in the world, despite greater availability and use of fossil fuels. Brazil is already a world leader in renewable energy and is set to almost double its output from renewables by 2035, maintaining their 43% share of the*

domestic energy mix. *Per-capita CO2 emissions increase by 50% to reach 3 tonnes of CO2, but this is still only 70% of the world average in 2035* (grifos nossos)⁴⁸⁹.

O Brasil deverá conseguir, portanto, o notável feito de aumentar sua produção e seu consumo de energia e, ao mesmo tempo, manter a essência renovável de sua matriz – característica sem paralelos entre os grandes países desenvolvidos e em desenvolvimento. De acordo com o “Balanço Energético Nacional” (BEN), do Ministério de Minas e Energia (MME), a oferta interna de energia no país registrava em 2013 a seguinte participação por fontes: 57,6% de fósseis (39,3% petróleo; 12,8% gás natural; e 5,6% carvão); 41,1% de renováveis (16,1% biomassa da cana; 12,5% hidráulica; 8,3% lenha e carvão vegetal; e 4,2% eólica e outras); e 1,3% de fissão nuclear (para efeito de comparação, o peso das fontes fósseis na matriz dos países da OI-ITER é de 86%). Nos próximos oito anos, conforme prevê o “Plano Decenal de Expansão de Energia” (PDE-2022), essa proporção entre fósseis e renováveis no Brasil (3:2) não deverá sofrer maiores alterações, pois o aumento na produção de petróleo e gás natural será compensado pela expansão de renováveis como biomassa e eólica⁴⁹⁰.

No que se refere à eletricidade, a essência renovável da matriz brasileira é ainda mais marcante. De acordo com o BEN/MME, a geração elétrica no Brasil é dominada em 79,3% pelas fontes renováveis (70,6% hidráulica; 7,6% biomassa; e 1,1% eólica), seguida pelas fósseis com 18,3% (11,3% gás natural; 4,4% petróleo; e 2,6% carvão) e pela fissão nuclear com 2,4%. Cumpre observar que a participação de renováveis em nossa matriz elétrica caiu de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013 exclusivamente em função de condições hidrológicas desfavoráveis e ao conseqüente aumento da geração térmica. De qualquer forma, tal como indicado no PDE-2022, a redução do peso relativo da fonte

489 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). *World Energy Outlook 2013 (factsheet)*.

490 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Balanço Energético Nacional 2014 e Plano Decenal de Expansão de Energia 2022*.

hidráulica já estava prevista no planejamento energético brasileiro e será mais que compensada nos próximos oito anos por meio do aumento da geração eólica, solar fotovoltaica e por biomassa. Até 2022, a participação das fontes fósseis diminuirá também pela entrada em operação de Angra III⁴⁹¹.

Como reconhece a AIE, o Brasil conta com “recursos abundantes e variados”, que deverão transformá-lo em uma das maiores potências energéticas do mundo até 2035, com evidentes repercussões sobre sua projeção internacional. Esse *status* não foi mera obra do acaso, mas reflete uma série de políticas públicas e de inversões estratégicas em pesquisa e desenvolvimento, muitas das quais iniciadas ainda na década de 1950 e intensificadas após as crises energéticas da década de 1970. Os melhores exemplos dessa verdadeira estratégia nacional de longo prazo – de implementação nem sempre linear, cumpre admitir – estão na prospecção e exploração de petróleo em águas profundas (que culminaram na descoberta do Pré-Sal), na produção sustentável de biocombustíveis (sobretudo o etanol de cana-de-açúcar, que oferece ao mundo, em especial aos países em desenvolvimento, um dos mais promissores modelos de energia sustentável e descentralizada), nas negociações diplomáticas que viabilizaram projetos como a usina hidroelétrica de Itaipu (responsável por mais de 15% de nossa atual matriz elétrica) e na criação das condições para o aproveitamento do potencial energético do urânio brasileiro (da prospecção e dimensionamento de nossas reservas ao domínio do ciclo do combustível nuclear)⁴⁹².

A partir de 2035, no entanto, tudo indica que o Brasil deverá enfrentar desafios semelhantes aos hoje impostos aos países da OI-ITER. Teremos esgotado a maior parte de nosso potencial hidráulico (incluindo os projetos de aproveitamento conjunto com nossos vizinhos) e, conforme vimos no capítulo anterior, as fontes eólica e

491 *Ibid.*

492 AMADO, André. *Energia* (artigo).

solar fotovoltaica oferecerão importante contribuição, mas, por suas características intrínsecas de intermitência, dificilmente servirão como energia firme na base do sistema elétrico brasileiro. Caso o Brasil pretenda manter a natureza renovável de sua matriz no pós-2035, parece estar fora de questão a progressiva substituição da hidroeletricidade pelo emprego maciço de térmicas a petróleo ou gás natural. Mesmo que a captura e armazenamento de carbono (CCS) venha a amadurecer como uma tecnologia viável e sustentável (hipótese duvidosa, para dizer o mínimo), nunca é demais ressaltar que o Brasil poderá encontrar usos industriais muito mais nobres para matérias-primas como o petróleo ou o gás natural⁴⁹³.

Se estiver correta a previsão da AIE para o consumo brasileiro de eletricidade em 2035 (cerca de 940 TWh), nosso índice *per capita* alcançará nesse ano o patamar de cerca de 4 MWh. Teremos universalizado o acesso à energia, mas, na segunda “era de eletrificação” antecipada por autores como Tennenbaum⁴⁹⁴, nosso consumo *per capita* ainda será inferior ao de Portugal na atualidade e equivalente a apenas 16% do índice previsto para os Estados Unidos⁴⁹⁵. Ou seja, dentro de vinte anos, o desafio brasileiro de expandir a capacidade instalada para geração elétrica seguirá gigantesco – tornando ainda mais complexa e sensível a definição da fonte para servir de base ao sistema. No pós-2035, a fissão nuclear surge como promissora alternativa para o *baseload*, pois, como vimos, o Brasil conta com reservas de urânio de 309 mil toneladas⁴⁹⁶ e domina todas as tecnologias necessárias para sua utilização (consequência do arraste tecnológico do programa de propulsão nuclear da Marinha do Brasil). Em termos de potencial energético, esses recursos são comparáveis, ou até superiores, aos do

493 NASCIMENTO, Cláudio A.O.; MORO, Lincoln F.L. *Petróleo: energia do presente, matéria-prima do futuro?* (artigo).

494 TENNENBAUM, Jonathan, *op. cit.*, p. 98.

495 YERGIN, Daniel. *The quest: energy, security and the remaking of the modern world*, p. 396.

496 Entrevista do presidente da INB, Aquilino Senra Martinez, ao jornal “O Globo”, 8 de abril de 2013. Como pontua Senra Martinez, esse volume leva em consideração a prospecção em apenas um quarto do território nacional, de modo que as reservas brasileiras provavelmente superam um milhão de toneladas.

Pré-Sol⁴⁹⁷. Não bastasse o urânio, o Brasil também possui uma das três maiores reservas mundiais de outro potencial elemento para a energia de fissão nuclear, o tório (606 mil toneladas⁴⁹⁸), que poderá ter seu aproveitamento viabilizado por reatores híbridos.

Como dito em mais de uma ocasião, este é um livro sobre fusão – e não sobre fissão – nuclear. Está fora de seu escopo uma discussão abrangente sobre as inúmeras oportunidades, circunstâncias e dimensões do aproveitamento de nossas reservas de urânio ou tório, seja para as necessidades do mercado interno, seja para o mercado internacional. Mas é impossível negar que, depois de Fukushima, a questão da aceitação social da energia nuclear “convencional” (uma tecnologia de aplicação imediata) voltou ao primeiro plano, com inevitáveis repercussões políticas e administrativas⁴⁹⁹. Trata-se de aspecto que, conforme vimos no capítulo anterior, tende a favorecer a energia de fusão, supostamente “mais limpa e segura” (só que imatura do ponto de vista tecnológico). No entanto, se há algo de essencial a apreender dos exemplos dos membros da Organização ITER é que fissão e fusão nuclear, longe de constituir alternativas excludentes, podem integrar estratégias nacionais (no caso da Euratom, supranacionais) de “longuíssimo prazo”, em um horizonte temporal que alcança 2100. É certo que, mesmo nos 35 países participantes do ITER, a fusão nuclear não passa de uma promessa para as autoridades responsáveis por planejamento energético, mas seu efeito de arraste tecnológico já é uma realidade do ponto de vista das autoridades de fomento à inovação industrial (sobretudo em duas áreas de inegável interesse para um país como Brasil: novos materiais e supercondutores de nióbio). Chineses, estadunidenses, europeus, indianos, japoneses, russos e

497 VEIGA, José Eli da (Org.), *op. cit.*, p. 33-34. Se pensarmos nas origens cósmicas do urânio (*vide* seção 2.1), anteriores ao surgimento do próprio Sol, nossas reservas desse elemento poderiam ser apropriadamente batizadas de “Pré-Sol”.

498 ASSOCIAÇÃO NUCLEAR MUNDIAL. *Informação sobre o tório*.

499 No Japão, como demonstram as reviravoltas de 2012 (decisão de *phase out* da fissão nuclear pelo governo liderado pelo Minshuto) e de 2013 (abandono do *phase out* pelo novo governo liderado pelo Jiminto), o assunto ganhou inédita dimensão eleitoral.

sul-coreanos não investiriam sem boa razão um volume combinado de recursos públicos da ordem de 2,5 bilhões de dólares ao ano – dois terços dos quais em um projeto de cooperação internacional, o reator de Cadarache⁵⁰⁰.

Para o Brasil de hoje, com tantas fontes à disposição e tanto potencial a explorar, a energia de fusão pode parecer empreendimento dispendioso e desnecessário, mas a verdade é que, mesmo sem contar com um programa estruturado, o país mantém atividades significativas nesse campo desde meados dos anos 1970 – antes da Índia ou República da Coreia – e, por muito pouco, não começou a trilhar o caminho da fusão nuclear nos anos 1950, em interessante episódio que merece aqui breve resgate – e que, vale frisar, nada tem a ver com a abordagem irrealista que caracterizou o projeto de Huemul na vizinha Argentina de Perón e Ronald Richter. No governo do presidente Getúlio Vargas (1951-1954) e na gestão do Almirante Álvaro Alberto à frente do CNPq (1951-1955), a abordagem pragmática e realista adotada pelo Brasil privilegiou a fissão, mas, acima de tudo, valorizou a formação e a capacitação de cientistas, engenheiros e técnicos em energia nuclear – seja pela concessão de bolsas de estudo no exterior a brasileiros, seja pela atração de professores visitantes estrangeiros⁵⁰¹. Foi nesse contexto que imigrou para o Brasil em fins de 1951 um discípulo de Oppenheimer e de Einstein, o cientista estadunidense David Bohm, pioneiro da pesquisa em física de plasmas na Universidade de Princeton, onde desenvolveu ferramentas teóricas fundamentais à fusão nuclear por confinamento magnético. Perseguido pelo macartismo, Bohm naturalizou-se brasileiro e lecionou na Universidade de São Paulo, infelizmente por apenas três anos (sua estada no país praticamente coincidiu, assim, com as gestões de Vargas e Álvaro

500 Valor estimado com base na soma de todas as verbas públicas destinadas à pesquisa e desenvolvimento em fusão nuclear. Vide AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Fusion Brief for the IEA Governing Board* (apresentação). É interessante observar que a estimativa de orçamento anual de construção da OI-ITER, em torno de 1,7 bilhão de dólares, corresponde a mais de 40% do orçamento total do MCTI no Brasil em 2014.

501 ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de. *A opção nuclear: 50 anos rumo à autonomia*, p. 54.

Alberto). Em fins de 1954, aceitou convite para trabalhar em Israel e depois no Reino Unido, e nunca mais fixou residência em território nacional⁵⁰². Um quarto de século mais tarde, outro Professor do Instituto de Física da USP, o brasileiro Ivan Cunha Nascimento, coordenaria o grupo de trabalho responsável pela construção e operação do primeiro *tokamak* na América Latina, o TBR-1⁵⁰³. Em 1979, ano do segundo choque do petróleo e do prenúncio da crise econômica da década seguinte, a academia brasileira dava – por iniciativa própria – nossos primeiros passos rumo à “era da energia de fusão”.

5.1. A energia de fusão no Brasil: do TBR-1 à criação da RNF

A pesquisa em física de plasmas e fusão nuclear começou formalmente no Brasil em 1974, com grupos criados em paralelo nas Universidades de São Paulo (USP), Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Estadual de Campinas (Unicamp)⁵⁰⁴. A comunidade brasileira de plasmas seria ampliada nos anos seguintes por instituições em todas as regiões, menos a Norte: Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista (FEG/Unesp), Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC, Bahia), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Universidade Estadual de

502 BIRD, Kai; SHERWIN, Martin J. *American Prometheus: the triumph and tragedy of J. Robert Oppenheimer*, p. 400. Segundo depoimento do professor José Goldemberg à FGV, Bohm teria saído do Brasil mais por desentendimentos com seu colega, o físico brasileiro Mário Schenberg, então diretor do Departamento de Física da USP, do que por considerações políticas relacionadas ao 24 de agosto de 1954. Nos anos 1960, Bohm derivaria para “uma fase mística”. Depoimento do professor Goldemberg. Disponível em: <www.fgv.br/cpdoc/historal/arq/Entrevista486.pdf>.

503 MARQUES, Gil da Costa (Org.). *IFUSP: passado e presente*, p. 68.

504 COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO DA REDE NACIONAL DE FUSÃO (RNF). *Anteprojeto do Laboratório Nacional de Fusão* (documento).

Ponta Grossa (UEPG), Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) e Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen)⁵⁰⁵. Trata-se de lista não exaustiva e que serve apenas para ilustrar a diversidade e a representatividade das entidades brasileiras com atividades de pesquisa e pós-graduação voltadas à energia de fusão.

Em contraste com o ocorrido na maioria dos membros da OI-ITER, onde prevaleceu abordagem *top down*, o interesse pela energia de fusão no Brasil partiu de iniciativas isoladas e, até o surgimento da Rede Nacional de Fusão (RNF) em 2006, sem maior articulação. Suas motivações, no entanto, eram essencialmente as mesmas: i) identificar fontes alternativas de energia no contexto das crises energéticas que marcaram os anos 1970, com forte impacto sobre a economia brasileira; e ii) emular os programas lançados pelo então “G-4 da fusão” (EUA, URSS, Europa Ocidental e Japão). Ainda em 1975, o grupo inicial formado por USP, UFRGS e Unicamp buscou – sem êxito – sua integração no âmbito de um “Plano Nacional de Pesquisa em Fusão Controlada”, com o apoio de uma linha específica de recursos da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep).

Embora o plano de 1975 não tivesse sido aprovado, a USP conseguiu amealhar verbas da Finep, do CNPq, da CNEN e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) para construção de um pequeno *tokamak*, em iniciativa inédita no Brasil e na América Latina. Em projeto 100% nacional, com componentes adquiridos no mercado de eletroeletrônicos da São Paulo da década de 1970 e artesanalmente adaptados na própria Universidade, o TBR-1 alcançou seu primeiro plasma – de sete milhões de graus centígrados – em 4 de outubro de 1979, feito que chegou, três dias depois, à primeira página da “Folha de S. Paulo” com a manchete “Brasil começa a dominar energia da fusão” (em mais um sinal do forte interesse midiático que

505 *Id., ibid.* (com acréscimos a partir da lista de entidades envolvidas em cooperação no âmbito Brasil-EURATOM).

sempre acompanhou o tema, dentro ou fora do país)⁵⁰⁶. Coordenado pelo prof. dr. Ivan Cunha Nascimento (que integrou o Conselho Internacional de Pesquisa da Fusão da AIEA), o TBR-1 custou cerca de novecentos mil reais⁵⁰⁷ (valor atualizado para 2014) e serviu para o treinamento de toda uma geração de cientistas brasileiros até sua desativação em fins da década de 1990. Possibilitou, ainda, resultados científicos relevantes na medição da densidade de plasmas em grandes *tokamaks*⁵⁰⁸.

Em 1981, a CNEN (nessa época vinculada ao Ministério de Minas e Energia) aprovou o estabelecimento de um programa nacional de fusão nuclear, que incluía a previsão de construção de laboratório específico no Rio de Janeiro (no antigo Campo de Roma, pertencente à Nuclebrás). A crise econômica de 1982-1983 impediu a efetivação dos planos e o programa foi cancelado em 1984. Com a redemocratização do país e a criação do Ministério da Ciência e Tecnologia (hoje MCTI), o tema voltou a merecer atenção do Governo federal e, graças ao apoio direto do ministro Renato Archer, foi lançado em 16 de setembro de 1987 o “Programa Nacional de Plasma”, que previa a integração de todas as atividades de pesquisa em fusão no Brasil e a construção do “Laboratório Nacional de Plasma”, ao custo estimado de trezentos milhões de reais (valor de 2014)⁵⁰⁹. O laboratório previa a operação de um *tokamak* esférico de grandes dimensões, que levaria o Brasil à liderança mundial nessa rota tecnológica alternativa da fusão por confinamento magnético. Com a saída de Archer do Ministério no mês seguinte, os planos foram desfigurados e posteriormente abandonados⁵¹⁰.

506 “Folha de S.Paulo”, 7 de outubro de 1979.

507 *Id.*, *ibid.*

508 GALVÃO, Ricardo M. O. *Brazilian Fusion Research Network* (apresentação).

509 “Folha de S.Paulo”, 30 de setembro de 1987.

510 COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO DA REDE NACIONAL DE FUSÃO (RNF). *Anteprojeto do Laboratório Nacional de Fusão* (documento).

Nos anos 1990, tendo em vista os precedentes da década anterior, USP, Unicamp e Inpe passaram a trabalhar com alternativas mais modestas (foi exatamente nesse período que China, Índia e República da Coreia deram seu grande salto na área). Diante da necessidade de substituir o TBR-1, o Instituto de Física da USP optou por negociar a compra de uma máquina de 1980 da Escola Politécnica de Lausanne, Suíça (integrante da EFDA/Eurofusion). Ao custo de setecentos mil reais (valor de 2014), pagos com apoio da Fapesp, o antigo *tokamak* suíço foi reinaugurado em 1999 com o nome de TCABR (*Tokamak Chauffage Alfvén Brasileiro*). Segue até hoje como o maior *tokamak* em funcionamento no Brasil⁵¹¹. Em 1998, a Unicamp recebeu como doação do governo japonês o NOVA, *tokamak* de pequeno porte construído pela Universidade de Quioto no início dos anos 1980. Em 1993, o Inpe concluiu uma versão reduzida do projeto de *tokamak* esférico (cogitado no plano lançado por Renato Archer). O Experimento *Tokamak* Esférico (ETE) começou a ser construído em 1995 e foi inaugurado em 1999, em São José dos Campos, obtendo seu primeiro plasma no ano seguinte⁵¹². A cooperação internacional ganhou importância crescente e, além dos citados casos de Japão e Suíça, a comunidade brasileira de fusão entabulou colaborações com universidades e laboratórios em países como Alemanha, Estados Unidos, Federação Russa, Portugal e Reino Unido⁵¹³.

Apesar da falta de recursos e de um programa nacional estruturado, as atividades brasileiras em física de plasmas e energia de fusão sempre despertaram considerável interesse internacional e, ao longo da década de 1990, o Brasil foi frequentemente citado como um possível participante do ITER⁵¹⁴. Com a conclusão do projeto de

511 MARQUES, Gil da Costa (Org.), *op. cit.*, p. 69.

512 Informações do sítio <www.tokamak.info>, mantido pelo pesquisador britânico Nick Balshaw, do centro de fusão de Culham.

513 COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO DA REDE NACIONAL DE FUSÃO (RNF). *Anteprojeto do Laboratório Nacional de Fusão* (documento).

514 Vide AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Fusion Brief for the IEA Governing Board* (apresentação).

engenharia do reator experimental e o início das negociações para o acordo constitutivo da Organização ITER, coube ao lado europeu a iniciativa de incluir o tema na agenda do relacionamento Brasil-UE, com o objetivo de sondar nossa eventual disposição em tomar parte do projeto e de relançar uma antiga ideia ventilada pela Organização CERN ainda nos anos 1980: a utilização de nióbio como contribuição em espécie para a produção de bobinas supercondutoras (no caso do CERN, o metal brasileiro seria utilizado no Grande Colisor de Hádrons)⁵¹⁵.

Para o lado brasileiro, a perspectiva de criação de uma organização internacional sobre energia de fusão devolveu o ímpeto aos grupos tradicionalmente ligados ao tema, que, em meados de 2002, apresentaram ao Governo federal nova proposta de criação de um “Programa Nacional de Energia por Fusão”⁵¹⁶. No documento coordenado pelo Inpe, a comunidade brasileira de fusão nuclear advogou a participação do Brasil em projetos internacionais de grande porte como o ITER, ou em “projetos alternativos”, cuja “definição dependerá da evolução dos acontecimentos mundiais e do programa nacional em curto prazo, bem como de questões de diplomacia internacional”⁵¹⁷. A proposta sublinha a importância do incentivo à formação e à fixação de pessoal especializado, bem como do envolvimento da iniciativa privada, que, na hipótese de ingresso do país no ITER, poderia participar da “produção de materiais da parede do reator” ou da “produção de nióbio para fios supercondutores”⁵¹⁸.

A proposta do Inpe só seria efetivamente considerada pelo Governo brasileiro a partir de 2003. Em troca de cartas realizadas entre os então titulares do MCT e da pasta de Pesquisa na Comissão Europeia, nos meses de setembro e outubro de 2004, Brasil e

515 CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. *Alberto Santoro, o eterno estrangeiro* (artigo).

516 “Gazeta Mercantil”, 22 de agosto de 2002.

517 “Proposta de Programa Nacional de Energia por Fusão” (documento).

518 *Id.*

Euratom concordaram em explorar possibilidades de cooperação na implementação do ITER⁵¹⁹. O Itamaraty assumiu o papel que lhe cabia na coordenação das tratativas internacionais e, em novembro daquele ano, durante visita às instalações do JET pelo então embaixador brasileiro em Londres, as lideranças do EFDA defenderam a participação do Brasil no ITER na condição de membro pleno ou de associado à Euratom (ou seja, em *status* idêntico ao da Suíça)⁵²⁰. Naquela oportunidade, seis membros plenos estavam definidos e as negociações com a Índia já haviam começado. Em meio à disputa entre franceses e japoneses pelo local de construção do reator, contudo, ainda pairavam dúvidas sobre a criação da OI-ITER⁵²¹.

Em junho de 2005, o entendimento nipo-europeu em favor de Cadarache como sede do ITER praticamente coincidiu com a visita ao Brasil de David King, o então responsável por assuntos científico-tecnológicos no governo britânico, que aproveitou para incluir o tema em seus encontros com autoridades brasileiras⁵²². Em entrevista à “Folha de S. Paulo”, King demonstrou “entusiasmo” sobre a possibilidade de o Brasil, uma “enorme fonte de nióbio”, vir a ser “o sétimo parceiro [do ITER]” (o britânico acrescentou a existência de “conversas para que a Índia seja o oitavo”)⁵²³. As tratativas entre os lados brasileiro e europeu continuaram em março de 2006 com a visita do então ministro da Ciência e Tecnologia, Sérgio Rezende, ao JET, acompanhado pelos então titulares da CNEN e da DCTEC/MRE, bem como por funcionários da Embaixada brasileira em Londres. Na reunião de trabalho com representantes da DG Pesquisa e Inovação da Comissão Europeia e com o cientista português Carlos Varandas, presidente do conselho científico do EFDA, o ministro Rezende

519 Despacho telegráfico 19, de 26 de janeiro de 2005, para a Delegação do Brasil junto à UE.

520 Telegrama 1347, de 8 de novembro de 2004, da Embaixada do Brasil em Londres.

521 A revista “The Economist”, em sua edição de 5 de fevereiro de 2004, publicou texto irônico (“*Fusion power: bouillabaisse sushi*”) em que recomendava os governos envolvidos a “*spend their research money on other things*”.

522 Informação ao senhor ministro de Estado das Relações Exteriores (DCTEC, 3 de outubro de 2008).

523 “Folha de S.Paulo”, 3 de julho de 2005.

ressaltou o interesse brasileiro em identificar base sólida para cooperação mais intensa com o JET e com o Projeto ITER. Com relação ao ITER, Varandas e as demais autoridades europeias indicaram a existência de três caminhos para o Brasil: “i) tornar-se membro pleno, como fez recentemente a Índia; ii) negociar contrato de associação, o que exigiria aguardar a formalização do acordo que criará o ITER; ou iii) seguir o caminho da participação informal, via colaboração com um sócio do projeto”⁵²⁴.

Em meados de 2006, fechou-se a janela para a adesão de membros fundadores da OI-ITER. Naquele momento, o Governo brasileiro já havia chegado à conclusão de que o ingresso do país como membro pleno da nova Organização não seria desejável por duas razões principais, vinculadas entre si: a dúvida quanto à relação custo-benefício do projeto de Cadarache e a inexistência de um programa nacional de energia de fusão que pudesse ser imediatamente favorecido pelo ITER. Naturalmente, também pesou o menor apelo da fusão nuclear para um país como o Brasil, com tantas alternativas energéticas à disposição e que sequer esgotou seu potencial hidroelétrico⁵²⁵.

Do ponto de vista da relação custo-benefício, as eventuais contribuições brasileiras à OI-ITER seriam elevadas (em torno de 250 mil IUAs, cerca de 1,5 bilhão de reais, somente em aportes *in kind* na fase de construção⁵²⁶) e as vantagens econômicas seriam incertas – entre outras razões pelo fato de não termos participado da partilha inicial dos arranjos licitatórios. A hipótese de ingresso como mero fornecedor de matéria-prima (nióbio) era evidentemente descabida e iria de encontro à própria essência da Organização como um vetor de capacitação tecnológica e industrial de seus membros.

524 Com relação ao JET, Varandas nunca ocultou o interesse em preservar o canal informal de acesso a pesquisadores brasileiros via Portugal, por meio do Instituto Superior Técnico de Lisboa, uma das entidades integrantes da EFDA/Eurofusion.

525 Entrevista do prof. dr. Ricardo Galvão a “O Estado de S.Paulo”, 20 de janeiro de 2013.

526 Vale sempre frisar que as conversões de IUAs em outras moedas não são precisas. O valor em reais foi calculado com base na quotação aproximada da IUA em euros em 2006. Hoje, com as revisões de orçamento do ITER, essa contribuição poderia superar os 4,5 bilhões de reais.

Cumpra acrescentar que as necessidades de nióbio do ITER – cerca de quinhentas toneladas – corresponderiam a um contrato de no máximo dez mil IUAs, e o eventual beneficiamento do metal no Brasil dependeria de complexas e duvidosas negociações com empresas estrangeiras⁵²⁷. Para as 240 mil IUAs restantes, teríamos de habilitar em tempo recorde um grande número de fornecedores brasileiros de bens e serviços de alta tecnologia – com o risco considerável de sermos obrigados mais à frente, em função de um compromisso internacional, a comprar parte desses bens e serviços no exterior⁵²⁸.

Os benefícios de nossa eventual presença na OI-ITER tornavam-se ainda mais incertos em razão da inexistência de um verdadeiro programa doméstico de fusão nuclear, não obstante as importantes contribuições desde os anos 1970 de entidades como USP, Inpe, ITA, Unicamp, UFF, Ipen, CBPE, UFPR e UFRGS, entre outras. Mesmo países como a Índia e a República da Coreia, que iniciaram suas pesquisas depois do Brasil, ostentavam programas bem estruturados e com metas ambiciosas já no início dos anos 2000. Na abordagem pragmática definida pelo Governo brasileiro em 2006, a retomada do caminho da energia de fusão deveria passar antes pela criação de um programa robusto em âmbito nacional, bem como pela identificação de parcerias internacionais menos onerosas e mais adequadas às circunstâncias brasileiras⁵²⁹.

Como indicado por circular telegráfica de orientação às Embaixadas do Brasil no exterior, datada de 8 de dezembro de 2006, a assinatura do acordo constitutivo da OI-ITER coincidiu com a criação da Rede Nacional de Fusão (RNF), apresentada como um sinal do interesse do Governo brasileiro em implementar “política nacional”

527 Como visto na seção 2.8, os *procurement arrangements* relativos à fabricação dos fios e cabos supercondutores de nióbio-estanho e nióbio-titânio beneficiaram principalmente europeus, estadunidenses, japoneses e chineses.

528 Nunca é demais de recordar o caso da Índia, membro da OI-ITER com menor *expertise* em energia de fusão. A participação da indústria indiana concentra-se em componentes convencionais como o criostato, que, apesar de seu grande valor em IUAs, não passa de um gigantesco vaso de aço inoxidável.

529 Entrevista do embaixador Hadil da Rocha Vianna ao autor, 2 de maio de 2014.

e acompanhar os “desdobramentos internacionais” na matéria⁵³⁰. Nos termos da portaria assinada pelo ministro Sérgio Rezende em 21 de novembro de 2006⁵³¹, a RNF constitui “um dos elementos do Programa de Energia Nuclear, no âmbito da [então] Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE)” e tem por missão a promoção do “avanço científico-tecnológico da fusão nuclear controlada no país, coordenando as atividades dos grupos atuantes nesta área”⁵³². Sua meta central é a de “estabelecer a capacitação científica e técnica necessária” para que o Brasil adote a fusão nuclear “caso esta opção venha a se mostrar economicamente atrativa no futuro”⁵³³. O entusiasmo gerado pela criação da Organização ITER foi decisivo para que o Brasil enfim articulasse seus esforços no campo da energia de fusão, depois das tentativas frustradas de 1975, 1981 e 1987.

Em 16 de agosto de 2007, o MCT indicou os primeiros membros do Comitê Técnico-Científico (CTC) da RNF: o presidente da CNEN, órgão responsável por sua coordenação central; o prof. dr. Ricardo Galvão (USP), como seu secretário-executivo; o prof. dr. Ivan Cunha Nascimento (USP); o dr. Gerson Otto Ludwig (Inpe); o dr. Edson Del Bosco (Inpe); o prof. dr. Ricardo Viana (UFPR); e o prof. dr. Munemasa Machida (Unicamp)⁵³⁴. Pouco depois, o CTC/RNF criou grupo de trabalho encarregado de elaborar o anteprojeto do Laboratório Nacional de Fusão. Por meio desse documento, concluído em outubro de 2007, a comunidade brasileira de energia de fusão reiterou a importância da qualificação de recursos humanos e, depois de apresentar de forma resumida as principais iniciativas internacionais na

530 Circular Telegráfica 62.306, de 8 de dezembro de 2006, para a Delegação do Brasil junto à UE e Embaixadas do Brasil em Bruxelas, Lisboa, Londres, Moscou, Nova Delhi, Paris, Pequim, Seul, Tóquio, Viena e Washington.

531 A mesma data de assinatura do acordo constitutivo da Organização ITER.

532 Portaria MCT nº 870, de 21 de novembro de 2006.

533 *Id.*

534 “Diário Oficial da União”, 17 de agosto de 2007. Em dezembro de 2011, o prof. dr. Ivan Cunha Nascimento foi substituído pelo dr. Hugo Zschommler Sandim, da Escola de Engenharia de Lorena, USP (*vide* “Diário Oficial da União”, de 7 de dezembro de 2011).

área (com destaque para a OI-ITER, o EFDA e a “Abordagem Ampla” Euratom-Japão), concluiu que:

Todos esses empreendimentos vão gerar patentes que serão de propriedade dos países participantes e o Brasil é o único país importante pela sua extensão territorial e desenvolvimento que, até agora, não participa de nenhum deles.

Essas informações, apesar de bastante resumidas, dão uma ideia da *complexidade do problema para um país como o Brasil que, devido aos atrasos ocorridos na formação de pessoal qualificado e nas pesquisas nos últimos 20 anos, se encontra agora impossibilitado de, em curto prazo, colaborar significativamente com os países líderes neste campo.*

É óbvio que *seria praticamente impossível o Brasil desenvolver todas essas tecnologias de forma autônoma e que o caminho a seguir é a associação com sócios plenos do ITER.* Esta oportunidade apresenta-se com as discussões para o *acordo Brasil-EURATOM*, atualmente em desenvolvimento. É de vital importância que estas negociações sejam concluídas rapidamente (grifos nossos)⁵³⁵.

Em julho de 2007, na Cúpula de Lisboa, Brasil e União Europeia haviam elevado seu relacionamento ao *status* de parceria estratégica, que incluía entre as ações prioritárias a promoção da cooperação em ciência, tecnologia e inovação. No ano seguinte, sob a coordenação do Departamento de Temas Científicos e Tecnológicos (DCT) do Ministério das Relações Exteriores, começou o processo formal de negociações de um acordo de cooperação sobre pesquisa em fusão nuclear entre Brasil e Euratom, o membro da OI-ITER que, como vimos ao longo deste livro, lidera a pesquisa mundial na área, é o anfitrião do reator de Cadarache e responde pelo fornecimento de mais de 45% de seus componentes e sistemas.

535 COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO DA REDE NACIONAL DE FUSÃO (RNF). *Anteprojeto do Laboratório Nacional de Fusão* (documento).

5.2. Acordo Brasil-Euratom de 2009: uma “trilha” para o ITER e o pós-ITER

Tendo em mente o interesse em contribuir para o pilar internacional da Rede Nacional de Fusão no menor prazo possível, as negociações entre Brasil e Euratom foram concluídas em sete meses e meio: de 21 de outubro de 2008 (encontro inicial no contexto da II Reunião do Comitê Diretivo do Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Brasil e a União Europeia) a 10 de junho de 2009 (despacho favorável final do Gabinete do ministro de Estado das Relações Exteriores). O único ponto que se revelou sensível foi o da solução de controvérsias, em função da proposta europeia de menção expressa à prevalência das regras de arbitragem da Comissão das Nações Unidas para o Direito Comercial Internacional (UNCITRAL). Embora a Consultoria Jurídica do MRE tenha considerado aceitável a referência, recordando que o Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica Brasil-UE de 2004 faz o mesmo⁵³⁶, os negociadores brasileiros valeram-se do próprio acordo constitutivo da OI-ITER (sem qualquer menção à UNCITRAL, *vide* seção 2.7) para convencer o lado europeu a simplificar a cláusula, que, em sua redação final, apenas prevê que “todas as questões relativas à interpretação ou à implementação [...] serão resolvidas de comum acordo entre as Partes”⁵³⁷.

Cumprе mencionar que o processo negociador do acordo Brasil-Euratom sobre energia de fusão coincidiu com a criação pelo Itamaraty de uma Subsecretaria-Geral específica para cuidar das questões de energia e de ciência, tecnologia e inovação (a SGEAT, depois transformada em SGAET, com o acréscimo do Departamento de Meio Ambiente e Temas Especiais à sua estrutura). Vinculada diretamente a essa nova Subsecretaria-Geral, criou-se, por sua vez, uma

536 Parecer CONJUR/MRE n° 10, de 11 de maio de 2009.

537 ACORDO BRASIL-EURATOM DE 2009, artigo 10°, parágrafo 3°. Com base no citado parecer da CONJUR, manteve-se, no entanto, menção às regras da UNCITRAL no anexo sobre propriedade intelectual.

Coordenação-Geral dos Usos Pacíficos da Energia Nuclear (CGEN, hoje extinta), responsável pelo tratamento internacional das dimensões energética e científico-tecnológica da energia nuclear – tanto da fissão, quanto da fusão⁵³⁸. Em uma de suas primeiras missões, em dezembro de 2008, a CGEN coordenou reunião do Subgrupo de Cooperação e Parcerias Estratégicas Internacionais do Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro (CD-PNB), em cuja ata foi enfatizado o “interesse do Brasil em participar de projetos internacionais também na área de fusão”, com menção à OI-ITER e à hipótese de participação indireta “por meio de acordo sobre cooperação na área de fusão nuclear entre o Brasil e a Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom), ora em negociação”⁵³⁹.

Em junho de 2009, durante a visita de Octavi Quintana Trias, diretor responsável pela Euratom na Direção-Geral de Pesquisa e Inovação da Comissão Europeia, definiu-se que o acordo – cuja negociação fora finalizada naquele mês – deveria ser assinado na III Cúpula Brasil-União Europeia a realizar-se em Estocolmo, em outubro seguinte, de modo a sublinhar a importância política do ato (o primeiro instrumento internacional do Brasil na área de fusão nuclear e o primeiro da Euratom com país do Hemisfério Sul)⁵⁴⁰. O atraso do lado europeu em submeter a minuta de acordo ao Conselho de Representantes Permanentes dos Estados-membros da UE em Bruxelas (Coreper) impediu, porém, sua assinatura em Estocolmo. Na declaração final da Cúpula, os presidentes Luiz Inácio Lula da Silva e José Manuel Durão Barroso apenas registraram satisfação pela

538 As questões relacionadas ao uso dual, à não proliferação e ao regime internacional de salvaguardas seguiram na competência da Divisão de Desarmamento e Tecnologias Sensíveis (DDS). Com a extinção da CGEN em meados de 2011, seus temas foram absorvidos pela Divisão de Ciência e Tecnologia (DCTEC) e pela Divisão de Energias Não Renováveis (DREN).

539 Ata da Reunião do Subgrupo de Cooperação e Parcerias Estratégicas Internacionais do Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro (Brasília, 9 de dezembro de 2008).

540 Despacho telegráfico 263, de 16 de junho de 2009, para a Delegação do Brasil junto à UE. Como vimos na seção 2.6, Quintana Trias aproveitou essa visita para sondar a disposição do Brasil em ingressar como membro pleno da OI-ITER, aproveitando a janela de tempo que se fecharia somente em fins daquele ano. Em razão da crise econômica de 2008, a EURATOM estava particularmente interessada em identificar novos sócios para o projeto.

conclusão das negociações e mencionaram o interesse comum em “projetos e infraestruturas multilaterais e europeias de larga escala na área de pesquisa em fusão” (referências ao ITER e ao JET)⁵⁴¹.

A próxima oportunidade bilateral para a assinatura do acordo seria a da III Reunião do Comitê Diretivo do Acordo Científico-Tecnológico Brasil-UE, prevista para fins de novembro de 2009 em Brasília. A fim de evitar novos atrasos, com base em pertinente sugestão da Missão do Brasil junto à UE, a Secretaria de Estado das Relações Exteriores solicitou gestões de nossas Embaixadas nos quatro Estados-membros da União Europeia que, pouco antes da Cúpula de Estocolmo, haviam requisitado a chamada “reserva de escrutínio parlamentar” (Alemanha, França, Polônia e Reino Unido) – uma consulta prévia às comissões temáticas dos respectivos Legislativos. Graças ao engajamento das Embaixadas brasileiras em Berlim, Paris, Varsóvia e Londres, o Coreper logrou aprovar o texto em tempo para sua assinatura em Brasília, no dia 27 de novembro de 2009, pelo diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear e pelo embaixador-chefe da Delegação da Comissão Europeia no Brasil. Por coincidência, foi o último acordo internacional assinado pela Comissão antes da entrada em vigor do Tratado de Lisboa, que extinguiu as “comunidades europeias”, com exceção da Euratom⁵⁴².

O “Acordo de Cooperação entre o Governo da República Federativa do Brasil e a Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom) na Área de Pesquisas sobre Energia de Fusão” concentra-se na rotatecnológica do confinamento magnético e, em particular, nos *tokamaks*, “incluindo os grandes projetos desta geração e as atividades relacionadas aos da próxima geração”⁵⁴³. Seu escopo abrange, portanto, não apenas reatores do padrão ITER, mas também os futuros reatores de demonstração e,

541 Declaração conjunta da III Cúpula Brasil-UE (Estocolmo, 6 de outubro de 2009).

542 Cumpre recordar que o Brasil já havia assinado um acordo de cooperação com a EURATOM em 1965, com foco em fissão nuclear. Esse acordo expirou em 1985.

543 ACORDO BRASIL-EURATOM DE 2009, artigo 2º.

em última análise, as usinas comerciais. O instrumento prevê como formas de cooperação, em listagem não exaustiva: i) o intercâmbio e o fornecimento de informações e dados sobre atividades científicas e tecnológicas, eventos, experiências e resultados; ii) o intercâmbio de cientistas, engenheiros e outros especialistas, por períodos a definir, para participação em experiências, análises e outras atividades de pesquisa e desenvolvimento; iii) a organização de seminários e outras reuniões para discussão e troca de informações sobre temas de mútuo interesse; iv) o intercâmbio de amostras, materiais, instrumentos e componentes para experiências, testes e avaliações; v) a realização de estudos, projetos ou experiências conjuntas, incluindo sua concepção, construção e realização conjunta; e vi) o compartilhamento de ferramentas de análise remota de dados⁵⁴⁴. Nos termos do artigo 4º, as Partes deverão instituir um Comitê de Coordenação encarregado de definir e supervisionar a realização das atividades de cooperação, bem como avaliar seu progresso e propor iniciativas complementares. O Comitê deverá reunir-se uma vez ao ano, de modo alternado no Brasil e na Europa. A gestão permanente das atividades conjuntas caberá a dois Secretários-Executivos, um de cada Parte. O acordo tem vigência inicial de cinco anos, sendo automaticamente prorrogável por períodos adicionais de igual duração, a não ser que uma das Partes o denuncie com seis meses de antecedência⁵⁴⁵. Há, ainda, um anexo-padrão de propriedade intelectual, cujo teor foi submetido e aprovado pelo Grupo Interministerial de Propriedade Intelectual (GIPI).

Do ponto de vista brasileiro, os dois aspectos de maior interesse no acordo de 2009 são o intercâmbio de pessoal, que abre a possibilidade de aperfeiçoamento de pesquisadores brasileiros nos laboratórios da EFDA/Eurofusion (incluindo, naturalmente, o JET), e a cooperação na realização de estudos e projetos, o que poderá facilitar a modernização dos três *tokamaks* hoje existentes no Brasil (TCABR na USP, ETE no

544 *Id.*, artigo 3º.

545 *Id.*, artigo 11.

Inpe e NOVA na Unicamp), além de contribuir para a construção da máquina experimental no futuro laboratório brasileiro de fusão nuclear. O acordo Brasil-Euratom constitui, assim, extraordinária oportunidade para a consolidação e o fortalecimento da RNF e da própria comunidade brasileira de fusão. Além disso, ainda que não mencione o ITER em nenhum momento, o acordo dá ao Comitê de Coordenação mandato suficiente para planejar colaborações conjuntas que incluam experimentos no reator de Cadarache, tão logo este entre em operação na próxima década (a participação direta de pesquisadores brasileiros, no entanto, estará condicionada à aprovação expressa das demais Partes da OI-ITER e, muito provavelmente, à negociação de um convênio específico).

Para a Euratom, conforme já abordado no capítulo 3, a cooperação internacional extra-ITER reflete o interesse em ampliar a massa crítica global de pesquisa em fusão, bem como em identificar parceiros interessados no futuro desenvolvimento dos reatores de demonstração (horizonte pós-2030) – de preferência, parceiros em condições de arcar com parte dos custos do *roadmap* europeu do DEMO. Fora do âmbito da Organização ITER, até o presente, a Euratom assinou acordos de energia de fusão com apenas dois países além do Brasil: Ucrânia (2002) e Cazaquistão (2004)⁵⁴⁶.

No mesmo dia da assinatura do acordo Brasil-Euratom de 2009, o diretor do DCT/MRE e a diretora de Cooperação Internacional da DG de Pesquisa e Inovação (RTD) presidiram uma primeira reunião técnica a fim de examinar modalidades para o prosseguimento da cooperação, em paralelo aos procedimentos internos de ratificação. Os dois lados concordaram em estabelecer “grupo de trabalho informal” sobre energia de fusão, sob a égide do acordo científico-tecnológico Brasil-UE de 2004. Como aponta o relato da reunião entre o diretor do DCT e a Diretora da DG-RTD, o progresso da cooperação bilateral em fusão

⁵⁴⁶ Informação da DG-RTD sobre “EURATOM legal pillars and agreements”. Disponível em: <ec.europa.eu/research/energy/euratom>.

nuclear, “com o conseqüente aumento da capacitação brasileira” nessa área, “permitirá ao País decidir, no momento apropriado, a eventual participação em iniciativas mais ambiciosas, como a do Projeto ITER”⁵⁴⁷. O “GT informal” reuniu-se em apenas duas oportunidades (fevereiro e dezembro de 2010), mas logrou identificar as quatro áreas prioritárias para o futuro intercâmbio: i) sistemas de diagnóstico; ii) análise avançada de dados e modelagem teórica e computacional; iii) propagação de ondas Alfvén em *tokamaks*; e iv) sistemas de radiofrequência. Acertou-se, ainda, o estudo da possibilidade de envio de estudantes brasileiros de doutorado para cumprir parte de seu currículo acadêmico nas entidades associadas à EFDA/Eurofusion.

O acordo Brasil-Euratom de 2009 foi aprovado pelo Congresso Nacional em 26 de dezembro de 2012 e, nos termos de seu artigo 11, parágrafo 1º, entrou em vigência internacional em 23 de janeiro de 2013 (data da nota-verbal em que a Missão do Brasil junto à UE informa à Comissão Europeia o cumprimento dos trâmites internos). No entanto, o texto ainda não foi objeto do decreto presidencial de promulgação, necessário para sua internalização no sistema jurídico brasileiro⁵⁴⁸. Trata-se de situação que compromete o pleno aproveitamento do potencial da cooperação bilateral, sobretudo pela impossibilidade de instalação formal do Comitê de Coordenação (embora nada impeça sua instalação em bases como as do GT de 2010). Apesar dessa dificuldade de natureza jurídica, que resulta em indesejável estímulo à pulverização de atividades e acertos *ad hoc*, a colaboração entre Brasil e Euratom tem avançado e envolve hoje doze entidades brasileiras (USP, CBPF, Inpe, ITA, UEPG, UESC, UFF, UFMS, UFPR, UFRGS, UFRJ e UFRN) e entidades europeias em dez países (Alemanha, Áustria, Bélgica, França, Itália, Portugal, Reino Unido, República Tcheca, Suécia e Suíça).

547 Ao final da reunião, as autoridades brasileiras e europeias concederam entrevista coletiva disponível no canal do MRE no YouTube. Disponível em: <youtu.be/68BI02bAL8I>.

548 Até julho de 2014, a minuta de decreto seguia sob o exame da Casa Civil da Presidência da República.

Os dois projetos bilaterais mais importantes são os desenvolvidos no âmbito do JET, o experimento central da rede da EFDA/Eurofusion: i) a atualização dos sistemas de diagnóstico ativo das ondas Alfvén (“TAEs”, ou *Toroidal Alfvén Eigenmodes*); e ii) o desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagens em alta velocidade para detecção em tempo real dos chamados “MARFES” (*Multifaceted Asymmetric Radiation from the Edge*)⁵⁴⁹. O primeiro envolve o Laboratório de Física de Plasmas (LFP) da USP e o segundo, o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF). Merecem menção, ainda, a implementação dos projetos de simulações numéricas com o programa computacional CRONOS para o ITER (entre o ITA e a Comissão de Energia Atômica da França) e de estabilidade microestrutural das ligas especiais de aço ODS-EUROFER (entre a Escola de Engenharia de Lorena/USP e Instituto Tecnológico de Karlsruhe, na Alemanha). São apenas algumas áreas relacionadas à energia de fusão – todas de altíssima tecnologia – em que o Brasil detém considerável grau de *expertise*⁵⁵⁰.

O projeto relacionado às ondas Alfvén constitui excelente exemplo de colaboração entre academia e setor industrial para a inovação. A USP, a Escola Politécnica de Lausanne e o MIT estabeleceram parceria para o desenvolvimento e construção de um amplificador especial de ondas de radiofrequência, a ser utilizado no JET. Com base no protótipo elaborado pelos pesquisadores da USP (grupo do prof. dr. Ricardo Galvão no LFP) e financiado pela Fapesp, a Polatron – uma empresa brasileira de médio porte especializada em máquinas industriais de alta frequência – fabricou o inovador modelo de amplificador de alta potência. A máquina está em processo de patenteamento e deverá ser utilizada não apenas no JET, mas também em outros reatores experimentais de fusão em todo o mundo – e talvez até no ITER.

549 Vide a dissertação de mestrado de Marcelo Giovani Mota Souza (“Paralelismo computacional de processamento digital de imagens aplicado à detecção de MARFES no JET”), 2013.

550 Entrevistas do prof. dr. Ricardo Galvão (10 de maio de 2014) e do Engenheiro Alejandro Zurita, da EURATOM (6 de maio de 2014) ao autor.

Infelizmente, trata-se também de exemplo dos óbices burocráticos que os projetos de cooperação internacional ainda encontram no Brasil: o envio do amplificador para os testes no Reino Unido, por exemplo, só foi possível depois de um demorado e custoso procedimento de exportação temporária⁵⁵¹.

Mesmo sem ter sido internalizado no ordenamento jurídico brasileiro, o acordo de 2009 já viabilizou importantes iniciativas de cooperação entre Brasil e Euratom – pequenas amostras de seu potencial como instrumento para a ampliação e o fortalecimento das nossas capacidades em área estratégica como a energia de fusão. Como reconhecido pela presidenta Dilma Rousseff e pelo presidente José Manuel Durão Barroso no comunicado conjunto da VII Cúpula Brasil-UE (Bruxelas, 24 de fevereiro de 2014), “competitiveness, innovation and economic growth cannot be achieved without a strong cooperation on Science and Technology”, incluindo a fusão nuclear. Nesse comunicado, os dois lados realçam o progresso alcançado “in the ongoing cooperation under the EURATOM-Brazil Cooperation Agreement in the field of Fusion Energy Research, in particular related to the Joint European Torus (JET), to be formally endorsed at the coming constitutive meeting of the Coordinating Committee”. O documento acrescenta que “this well-functioning cooperation should be encouraged by developing a joint understanding and joint objectives for improving the framework conditions for Science and Technology”⁵⁵².

O acordo Brasil-Euratom de 2009 oferece trilha interessante, ou talvez um “atalho”, para o caminho aberto pela Organização ITER e, sobretudo, para os variados caminhos que surgirão no pós-ITER – ou seja, os inúmeros programas nacionais e internacionais de pesquisa

551 Revista “Pesquisa FAPESP”, dezembro de 2013, e entrevista do prof. dr. Ricardo Galvão ao autor (10 de maio de 2014). Caso o decreto presidencial de internalização do acordo Brasil-EURATOM de 2009 já tivesse sido assinado, o procedimento teria sido mais simples.

552 O comunicado conjunto da VII Cúpula Brasil-UE está disponível em: <www.itamaraty.gov.br/sala-de-imprensa/notas-a-imprensa>.

e desenvolvimento que deverão levar à aplicação prática da fusão nuclear controlada até o final deste século. Caso não tomemos esse rumo no momento oportuno, o Brasil corre o risco de tornar-se, em cinquenta anos, um importador de reatores nucleolétricos de fusão (ironicamente, carregados de nióbio brasileiro em suas bobinas supercondutoras) ou, reeditando acordos como o de 1975 com a Alemanha, das tecnologias ali contidas. Conforme bem observa o embaixador Samuel Pinheiro Guimarães, no entanto, a importação de tecnologia só gera real desenvolvimento “quando o sistema de produção de inovações tecnológicas instalado no país (centros de formação de pessoal científico e tecnológico, centros de pesquisa e laboratórios e indústrias de bens de capital) absorve o conhecimento embutido naquele processo de produção e, a partir desse conhecimento científico e tecnológico, se torna capaz de produzir aquele bem e novas inovações tecnológicas”⁵⁵³, Acordos como o firmado em 2009 com a Euratom partem dessa premissa, que é, em essência, a mesma da Organização ITER: a soma e a racionalização de esforços nacionais em um programa internacional de arraste, com benefícios diretos à capacitação tecnológica e industrial de todas as partes envolvidas. Não foi por outra razão que países como China, Índia e Rússia estão no ITER – ao lado de parceiros mais desenvolvidos como os europeus, os estadunidenses, os japoneses e os sul-coreanos.

É fundamental frisar que o pilar internacional oferecido por iniciativas como a OI-ITER, a “Abordagem Ampla” ou a cooperação Brasil-Euratom só faz sentido se acompanhado de robusto pilar doméstico (os “centros de formação”, os “laboratórios” e as “indústrias” a que se refere Pinheiro Guimarães). Essa é uma das grandes lições das duas “potências emergentes” da energia de fusão: a Índia e a República da Coreia, que, tal como vimos no capítulo 3, iniciaram suas atividades depois do TBR-1 de São Paulo e, hoje, contemplam a

553 PINHEIRO GUIMARÃES, Samuel. *Desafios brasileiros na era dos gigantes*, p. 137-138.

concepção e construção de reatores de demonstração (2037 no caso dos sul-coreanos e 2065, no dos indianos). Desde a assinatura do acordo de 2009, porém, o Brasil ainda não construiu seu primeiro grande laboratório de fusão nuclear, elemento-chave não somente para o efetivo funcionamento da RNF, mas, sobretudo, para a atração de nova geração de cientistas e engenheiros – a versão brasileira do que o *roadmap* europeu batiza de “geração ITER”.

O plano inicial de construção de um laboratório em Cachoeira Paulista, em terreno do Inpe, foi substituído, em 2013, pela proposta de criação do “Laboratório de Fusão Nuclear” (LFN), como parte do complexo nuclear em Iperó, São Paulo, que abrigará o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). O LFN será, em princípio, um laboratório vinculado diretamente à Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento da CNEN, que, a partir de convênio firmado com o Inpe, deverá iniciar suas atividades operando o Experimento *Tokamak* Esférico (ETE). Em uma segunda etapa, será construída a nova máquina, com base em projeto conceitual a ser elaborado sob a coordenação do secretário-executivo da RNF⁵⁵⁴. Na avaliação da CNEN, a instalação do LFN em Iperó “possibilitará a centralização de laboratórios de grande conteúdo técnico, promovendo em um único sítio atividades estratégicas para o país, com grande economia de recursos na sua implantação”⁵⁵⁵.

A criação do LFN consta da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015, que menciona a necessidade de o Brasil “acompanhar o desenvolvimento mundial nesse campo” e sublinha que o país é o “principal produtor de nióbio, elemento químico largamente utilizado nas bobinas supercondutoras usadas no confinamento magnético do plasma, assim como um produtor

554 Entrevista do prof. dr. Ricardo Galvão ao autor, 10 de maio de 2014.

555 Resolução CNEN nº 151, de 20 de março de 2013.

importante de lítio, utilizado como combustível na reação de fusão”⁵⁵⁶. Por sua vez, o Plano Plurianual 2012-2015 prevê verbas orçamentárias da ordem de 35 milhões de reais para a instalação do laboratório. O projeto Finep que fornece os recursos para elaboração do projeto básico de engenharia do LFN foi aprovado e sua execução iniciada em julho de 2014, sob a coordenação da CNEN⁵⁵⁷.

Ao reiterar a importância do capital humano para a pesquisa e desenvolvimento em energia de fusão, cabe breve menção ao programa “Ciência sem Fronteiras”, lançado em 2011 pelo governo federal com o objetivo de promover a capacitação e a competitividade brasileira por meio do intercâmbio e da mobilidade internacional. Resultado de esforços conjuntos do MCTI, do MEC e do Itamaraty, o projeto prevê, em sua primeira fase, a utilização de até 101 mil bolsas de graduação e pós-graduação nas mais avançadas instituições de ensino, com ênfase nas ciências exatas. Até junho de 2014, foram implementadas 83,2 mil bolsas de estudos no exterior, incluindo mais dez mil doutorados ou pós-doutorados. As engenharias e demais áreas tecnológicas dominam o programa e, entre os principais países de destino dos estudantes, destacam-se centros tradicionais de energia nuclear como Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, França e Alemanha⁵⁵⁸. Em ponto de especial relevo para o tema deste livro, que remete à infelizmente curta estada de David Bohm na São Paulo dos anos 1950, o programa também busca atrair pesquisadores do exterior que queiram se fixar no Brasil ou estabelecer parcerias com entidades brasileiras de ensino⁵⁵⁹. Nos longos horizontes temporais que caracterizam a pesquisa e desenvolvimento em fusão nuclear, o “Ciência sem Fronteiras”

556 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015*, p. 69.

557 Informação do prof. dr. Ricardo Galvão ao autor, 26 de julho de 2014.

558 SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. *Informação sobre o programa “Ciência sem Fronteiras”*.

559 Entrevista do embaixador Hadil da Rocha Vianna ao autor, 2 de maio de 2014.

certamente oferecerá contribuição à capacitação *lato sensu* do Brasil em pesquisa básica e aplicada e em engenharias.

A abordagem gradual e pragmática do “caminho brasileiro” à energia de fusão passa, assim, pelo trinômio educação-pesquisa-inovação, que recomenda o engajamento contínuo de pastas como o MCTI, o MDIC e o MEC, de entidades como CNEN, Finep e ABDI, e de um ator recém-criado, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), cuja missão será a de explorar as sinergias entre instituições de pesquisa e empresas, em favor da expansão e do fortalecimento da capacidade brasileira de inovação. Na análise dos casos individuais dos membros da OI-ITER, é interessante observar que, mesmo com as usinas comerciais de fusão estando a trinta ou quarenta anos no futuro, já há um quadro razoavelmente nítido dos prováveis atores principais dessa nascente indústria: de grandes grupos como Rosatom (Rússia), General Atomics (EUA), CNNC (China), KEPCO (República da Coreia), Larsen & Toubro (Índia), Toshiba, Hitachi e Mitsubishi (Japão) às dezenas de pequenas e médias empresas favorecidas pela F4E, a Agência Doméstica europeia. No Brasil, a criação de um ambiente propício, por meio de políticas públicas integradas de inovação, poderá multiplicar casos de sucesso como o da Politron – com a agregação de valor e de conteúdo tecnológico a toda a cadeia produtiva da indústria brasileira.

A análise atenta da Organização ITER e de seus participantes indica que o trinômio acima citado (educação-pesquisa-inovação) é, na verdade, um quadrinômio, pois a cooperação internacional – cerne deste livro – já demonstrou ser elemento fundamental do caminho da energia de fusão. O “caminho brasileiro” passa, por tanto, pelo Itamaraty e pela negociação, construção e acompanhamento, sempre em sintonia fina com as áreas técnicas, dos foros e instrumentos internacionais adequados à estratégia nacional. Contribuições relevantes para nosso posicionamento na área poderão vir diretamente da rede de setores de ciência e tecnologia (SECTECs) nos postos,

em sua tarefa precípua de informar e de servir como “antena” do Brasil no exterior, bem como da inovadora iniciativa da Rede Diáspora Brasil, recentemente criada com o objetivo de mobilizar cientistas brasileiros no estrangeiro, muitos dos quais físicos. Acima de tudo, caberá ao Itamaraty coordenar o eventual estabelecimento de novas parcerias em fusão nuclear dentro e fora do contexto ITER, desde nossos sócios no Brics (sobretudo os três que estão em Cadarache) até nossos vizinhos sul-americanos.

É na América do Sul, aliás, que estão as principais reservas de duas matérias-primas essenciais para o funcionamento de um grande *tokamak* do padrão ITER: o lítio e o nióbio. O primeiro encontra-se, sobretudo, em países como Argentina, Bolívia e Chile⁵⁶⁰, mas o segundo constitui um virtual monopólio do Brasil (*vide* mapas dos países com maiores reservas de lítio e nióbio nos anexos E.5 e E.6). Antes de partir para as recomendações e conclusões finais deste livro, é conveniente oferecer algumas breves considerações sobre o vínculo da “era da energia de fusão” – e seus *spin-offs* – com a exploração das reservas brasileiras de nióbio.

5.3. Reatores de fusão: um novo destino para o nióbio brasileiro?

Por suas propriedades físico-químicas (em especial, seu altíssimo ponto de fusão), o nióbio tornou-se nos últimos trinta anos uma importante matéria-prima para a fabricação de aços especiais destinados às indústrias automotiva, naval e petroquímica, bem como a obras de engenharia pesada e de infraestrutura energética (sobretudo oleodutos e gasodutos). É utilizado como insumo nas indústrias ótica e eletroeletrônica e em superligas para turbinas de aviões e de usinas termelétricas de última geração. Além de suas aplicações industriais,

560 Segundo dados do Serviço Geológico dos EUA, as reservas brasileiras de lítio são de 180 mil toneladas (0,5% do total global), pequenas se comparadas às de 9 milhões na Bolívia, 7,5 milhões no Chile e 6,5 milhões na Argentina.

pesquisas desenvolvidas pela Unicamp indicam que determinadas ligas de nióbio apresentam estrutura semelhante à do osso humano, são biocompatíveis e poderão servir para a produção de nova geração de próteses⁵⁶¹.

Como vimos ao longo deste livro, o nióbio é também um dos materiais ideais para a fabricação de supercondutores, hoje empregados basicamente em aparelhos de ressonância magnética, em aceleradores de partículas e em grandes *tokamaks*, como o ITER. O reator de Cadarache, aliás, inaugurou um novo mercado para compostos de nióbio-titânio (utilizados, por exemplo, nas bobinas do campo poloidal)⁵⁶². No total, cerca de quinhentas toneladas de nióbio serão empregadas na montagem de todas as bobinas magnéticas do ITER ao longo de dez anos – o que corresponde a uma parcela ínfima da produção total anual desse metal (cerca de cem mil toneladas, segundo dados do Serviço Geológico Britânico). Já um reator de demonstração, extrapolado do padrão ITER, deverá demandar quantidades muito superiores, no patamar de duas mil toneladas⁵⁶³.

O Brasil concentra aproximadamente 92% da produção e mais de 98% das reservas mundiais de nióbio (o Canadá responde por quase todo o restante). As reservas brasileiras, por sua vez, estão concentradas nos Estados de Minas Gerais (Araxá e Tapira), Amazonas (São Gabriel da Cachoeira e presidente Figueiredo) e Goiás (Catalão e Ouidor)⁵⁶⁴. Apenas as minas de Araxá e Catalão são exploradas no presente. Mais de 90% da produção brasileira é exportada e, em 2013, gerou receitas da ordem de 1,6 bilhão de dólares estadunidenses (valor superado apenas pelas exportações de minério de ferro, ouro e cobre).

561 “Folha de S.Paulo”, 10 de novembro de 2011.

562 “ITER Newline”, 23 de maio de 2014.

563 SERVIÇO GEOLÓGICO BRITÂNICO. Informação sobre nióbio e tântalo. Disponível em: <www.bgs.ac.uk/downloads>. A extrapolação do consumo de nióbio em um reator de fusão foi feita com base em dados fornecidos pela OI-ITER.

564 INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. *Informações e análises da economia mineral brasileira*. 7. ed., p. 48-50.

Os principais mercados consumidores do nióbio brasileiro são Países Baixos, China, Cingapura, Estados Unidos, Japão e União Europeia⁵⁶⁵.

A produção global do metal é dominada por apenas três empresas: a brasileira CBMM (mina de Araxá), a canadense IAMGOLD (mina de Chicoutimi, no Québec) e a britânica Anglo-American (mina de Catalão). Como consequência, não há um preço internacionalmente cotado. Com base na média dos contratos internacionais conhecidos, no entanto, sabe-se que o preço do nióbio está hoje em uma faixa de 30 a 35 dólares estadunidenses ao quilo – um considerável aumento desde 2005, quando esse patamar era de apenas dez dólares⁵⁶⁶. Em demonstração do crescente interesse internacional pelo metal, grupos japoneses, chineses e sul-coreanos adquiriram em 2011 uma fatia de 30% da CBMM, pelo valor de quatro bilhões de dólares⁵⁶⁷. Embora a motivação principal dessa operação tenha sido a indústria siderúrgica, é interessante notar que algumas das empresas envolvidas possuem vínculos com os fabricantes dos fios supercondutores para o reator de Cadarache.

Conforme apontam Leonam dos Santos Guimarães e Loureiro de Mattos, a CBMM constitui exemplo de empresa de capital majoritariamente nacional engajada em inovação tecnológica, pois “desenvolve e otimiza, internamente, processos para a transformação do minério em produtos básicos de nióbio; promove, externamente, com usuários, universidades e centros de pesquisa projetos com o objetivo de demonstrar e/ou desenvolver novos usos para o nióbio e seus compostos; desenvolve atividades na área da disseminação de informação tecnológica e investe na capacitação de recursos humanos internos e externos a seus quadros; [...] e [faz] investimentos de 2,9 milhões de dólares estadunidenses [em pesquisa e desenvolvimento],

565 DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL (DNPM). Informação sobre nióbio. Disponível em: < sistemas.dnpm.gov.br/publicação >.

566 IAMGOLD CORPORATION. Informação sobre nióbio. Disponível em: < www.iamgold.com/English/Operations/Operating-Mines/Niobec-Niobium-Mine >.

567 “O Estado de S. Paulo”, 4 de novembro de 2013.

ou seja, 3,7% sobre seu faturamento”⁵⁶⁸. Essa avaliação vai ao encontro da recente tese dos economistas João Furtado e Eduardo Urias de que recursos naturais não existem *per se*, mas precisam ser criados por inovações tecnológicas – tanto na identificação de seus usos, quanto na viabilização de sua exploração⁵⁶⁹. A CBMM contribuiu, assim, para criar e consolidar o atual mercado internacional de nióbio, posicionando o país como seu líder absoluto (e a empresa já começou a investir na produção de terras-raras, hoje um quase monopólio chinês, a partir dos rejeitos de minério)⁵⁷⁰. Tendo em mente o caminho que a Organização ITER deseja abrir, contudo, o Brasil talvez se beneficie de um salto qualitativo na exploração dessa riqueza, com a criação de condições para agregação ainda maior de valor dentro do território nacional.

Caso prevaleça a rota tecnológica dos grandes *tokamaks* com bobinas supercondutoras, o mercado do nióbio passará por uma radical transformação em meados deste século, provavelmente em escala sem paralelo com a expansão verificada nos últimos trinta anos. Também contribuirão para essa nova realidade as derivações (os *spin-offs*) dos fios supercondutores de nióbio-estanho e nióbio-titânio, que poderão ser empregados, a título meramente ilustrativo, em linhas ultraeficientes de transmissão de eletricidade – aspecto de óbvio interesse para um país de dimensões continentais e de potencial hidroelettrico ainda inexplorado como o Brasil.

De acordo com o “Plano Nacional de Mineração 2030” (PNM-2030) do MME, as projeções para a demanda da produção mineral de nióbio brasileiro, sob a forma de concentrado, são da ordem de 83 mil toneladas para 2015, 113 mil toneladas em 2022 e 161 mil toneladas em 2030 – números que, obviamente, não levam em conta qualquer

568 LOUREIRO DE MATTOS, João Roberto; GUIMARÃES, Leonam dos Santos. *Gestão da tecnologia e da inovação: uma abordagem prática*, p. 133-134.

569 FURTADO, João; URIAS, Eduardo. *Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira*, p. 11-22.

570 “Jornal do Senado”, 15 de abril de 2013.

influência relevante da construção de *tokamaks*⁵⁷¹. É impossível precisar a escala de produção do metal a partir de 2050 (influenciada por fatores como preço, tecnologias de extração e considerações ambientais). O importante é constatar a existência de curva ascendente, a ser talvez acelerada pelos rumos da energia de fusão, e reconhecer a dimensão estratégica do metal. O PNM-2030, aliás, inclui o nióbio na categoria dos minerais estratégicos, para os quais recomenda uma série de diretrizes. Entre as ações preconizadas encontram-se: i) a “promoção de estudos das cadeias produtivas desses minerais visando à agregação de valor com competitividade em seus diversos elos”; ii) “a criação de Grupos de Trabalho para acompanhamento de bens minerais estratégicos, com enfoque para as oportunidades e ameaças do mercado internacional”; iii) a “articulação interministerial com o setor produtivo para elaboração de programas de longo prazo voltados aos minerais portadores de futuro, objetivando a interação entre ICTs e empresas para a identificação de nichos competitivos de atuação”⁵⁷². São questões diretamente relacionadas à implementação do futuro marco legal da mineração no Brasil, tema que foge ao escopo deste livro, mas não é possível deixar de sublinhar os vínculos entre nosso virtual monopólio do nióbio e a “era da energia de fusão”.

No caso específico do nióbio, em reflexão que talvez se possa aplicar a tantos outros de nossos recursos minerais e energéticos, as decisões que o Brasil vier a tomar nas próximas décadas definirão se chegaremos ao final deste século como grandes exportadores de matéria-prima ou como protagonistas das próximas revoluções tecnológicas. Como afirma Pinheiro Guimarães em “Desafios brasileiros na era dos gigantes”:

Caso um esforço determinado, pertinaz e urgente de preservação do sistema de produção de tecnologia no País não ocorra, o Brasil estará fadado,

571 MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Plano Nacional de Mineração 2030: geologia, mineração e transformação mineral*, p. 83.

572 *Ibid.*, p. 126-127.

nos mercados internacionais, a perpetuar sua condição de exportador de commodities agrícolas e industriais (aço, têxteis, carne, sapatos etc.) de baixas elasticidades-preço e renda e de redução gradual de demanda, tais como certos minérios, em mercados caracterizados por condições de livre competição, e importador de produtos de maior sofisticação tecnológica, bens de capital e produtos de alta tecnologia, que se caracterizam pela alta elasticidade-renda, em mercados de características oligopolistas, o que significa que, para cada unidade importada, necessitará fazer um esforço crescente de exportação, aviltando cada vez mais os preços de seus produtos em benefício dos países que os importam, e transferindo recursos reais para o exterior.

Internamente, a economia se caracterizará pela dificuldade crescente de absorver a mão de obra que chega ao mercado de trabalho com as consequências econômicas políticas e sociais conhecidas, enquanto que o ritmo de desenvolvimento ficará condicionado à capacidade do país de atrair capital estrangeiro, o que aumentará sua vulnerabilidade a eventos exógenos sobre os quais não tem controle (grifos nossos)⁵⁷³.

Embora reconheça os méritos da argumentação de Furtado e Urias (sobretudo a ideia de que exploração mineral e sofisticação tecnológica não são conceitos necessariamente contraditórios), este livro defende a tese de que o interesse nacional estará melhor servido se privilegiarmos abordagem ambiciosa e abrangente de inserção do país na economia do conhecimento. Tal abordagem passa pela identificação de nossas vantagens comparativas, que devem ser aproveitadas da melhor forma possível, incluindo sim a exploração e a agregação de conteúdo tecnológico às exportações de *commodities* agrícolas, industriais e minerais. Mas passa também pelo adequado diagnóstico de nossas deficiências e vulnerabilidades (entre elas, o baixo valor agregado da pauta exportadora brasileira de bens e serviços), pela adoção de iniciativas e mecanismos para saná-las, e pela geração de

573 PINHEIRO GUIMARÃES, Samuel. *Desafios brasileiros na era dos gigantes*, p. 140-141.

novas oportunidades e espaços de desenvolvimento – em esforço que exigirá o consistente engajamento de governos, da academia e do setor privado ao longo de décadas. Em resumo, a relação entre nióbio e fusão nuclear talvez sirva de metáfora para o alcance da inserção do Brasil na economia global do século XXI.

Conclusão

O Brasil na encruzilhada da energia de fusão

*E de uma estrela sobre a testa, atiram,
Como espadas de fogo azul ou lanças de ouro
Entrelaçadas por murta todo-poderosa,
Agora símbolo da união do céu e da terra,
Vastos feixes como raios duma roda invisível
Que giram como a orbe, mais veloz que a mente,
Preenchendo o vácuo com relâmpagos solares,
Perpendicular agora, e agora transversal,
Passam através da matéria, e enquanto passam,
Desvendam os segredos do coração da terra.*
(P. B. SHELLEY em “Prometeu Desacorrentado”
(1820)⁵⁷⁴

*Nesta encruzilhada da evolução do mundo, não
há como fugir ao dilema crucial: ou ser forte
pela organização espiritual e pela ciência e suas
aplicações, ou ceder o lugar aos mais capazes.*
(Almirante ÁLVARO ALBERTO)⁵⁷⁵

Este livro visa a contribuir para a ação diplomática brasileira em três vertentes principais: a) a do “Caminho”, o estudo de caso de uma organização internacional *sui generis* como a OI-ITER, seus inovadores mecanismos de financiamento e aquisições, e seu complexo relacionamento com as Agências Domésticas das Partes do acordo constitutivo de 2006, cada uma com seus próprios interesses, motivações e programas nacionais ou supranacionais; b) a do “Destino”,

574 Tradução do autor. Com 130 anos de antecedência em relação a Andrei Sakharov, Shelley descreveu um *tokamak* em poesia.

575 *Apud* Revista “Parcerias Estratégicas”, março de 2001.

isto é, a discussão das perspectivas da fusão nuclear controlada como elemento de um novo paradigma energético, vetor de desenvolvimento sustentável e como um *game changer* na geopolítica da energia e do conhecimento; e c) a do “Brasil na encruzilhada da fusão”, pela análise das implicações da pesquisa e desenvolvimento em energia de fusão para o Brasil, a única das dez maiores economias globais a não participar do ITER, embora seja detentor do virtual monopólio global da mais importante matéria-prima para os supercondutores de um grande *tokamak*, o nióbio. Nesta parte final a guisa de conclusão, cada vertente é brevemente retomada com o propósito de oferecer algumas recomendações e sugestões concretas para a atuação do Itamaraty, sempre em estreita coordenação com as demais agências e órgãos governamentais envolvidos, com a comunidade científica e com o setor privado.

É importante frisar que, tendo em vista o âmbito deste livro, tais propostas dizem respeito exclusivamente à dimensão internacional do tema e partem da premissa que, como expresso nos diversos documentos oficiais citados no capítulo 5, a energia de fusão é parte integrante da estratégia brasileira de ciência, tecnologia e inovação⁵⁷⁶. O Itamaraty não constrói observatórios, laboratórios, aceleradores de partículas, *stellarators* ou *tokamaks*, mas – sempre que necessário ou conveniente ao interesse nacional – será o órgão responsável por identificar os foros e/ou criar as molduras internacionais mais adequadas e vantajosas para sua viabilização.

a) o “Caminho”

Como vimos nos capítulos 1 e 2, a singularidade da Organização ITER vem, em primeiro lugar, de sua composição. Iniciado como um projeto científico-tecnológico de distensão entre os Estados Unidos e a União Soviética, na fase final da Guerra Fria, o ITER acabou

⁵⁷⁶ Vide *inter alia* MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015*, p. 69.

implementado em inédita configuração Norte-Sul, congregando países de altíssimo índice de desenvolvimento humano (Suíça, Países Baixos, EUA, Alemanha, Dinamarca, Irlanda, Suécia, Reino Unido, República da Coreia e Japão, para citar somente aqueles com IDH superior a 0,89) e países de menor desenvolvimento como Bulgária (IDH de 0,777, o mais baixo da UE), China (IDH de 0,719) e Índia (IDH de 0,586)⁵⁷⁷. A razão dessa aliança é fácil de entender: a OI-ITER funciona como um grande programa internacional de arraste tecnológico e de sinergia em pesquisa e desenvolvimento – caso típico de uma *win-win situation* e de uma iniciativa em que o todo é maior do que a somatória das partes.

Apesar do diferencial nos indicadores econômicos e sociais, todos os participantes do ITER contam com robusta base tecnológica-industrial em energia nuclear e beneficiam-se do conteúdo agregado em Cadarache por três peculiaridades: i) o peso inédito dos aportes em espécie, superior a dois terços na fase de construção, que dá mais poder às Partes e assegura maior respaldo político e econômico à escala de contribuições; ii) o instituto dos arranjos licitatórios, que permite a perfeita integração das aquisições de componentes e sistemas do reator às políticas industriais e tecnológicas dos membros, com contratações vultosas e transferência de conhecimento aos respectivos setores produtivos; e iii) a existência de uma moeda própria, a IUA, projetada para minimizar as flutuações cambiais e as disparidades de custo de produção e de poder aquisitivo. Ao final, todos os membros compartilharão a propriedade intelectual essencial à operação de um grande *tokamak* e dela poderão dispor de acordo com suas conveniências.

Por outro lado, esses benefícios e ineditismos, do ponto de vista de um diplomata ou de um gestor de políticas públicas nacionais constituem riscos consideráveis aos olhos dos cientistas, engenheiros e gestores diretamente envolvidos na montagem do reator de

577 Dados do PNUD para 2013 (vide *Human Development Report 2014/The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World*, divulgado em 24 de julho de 2014).

Cadarache (a “Torre de Babel dos tempos modernos”, no epíteto de seus críticos). O ITER é uma colossal máquina a ser erigida no Sul da França com mais de um milhão de componentes de altíssima tecnologia – fabricados em lugares tão díspares e distantes quanto Ahmedabad, Aix-en-Provence, Chendgu, Daejeon, Kobe, Munique, San Diego e São Petersburgo. Atrasos, custos imprevistos e problemas de integração técnica têm marcado a rotina da OI desde sua instalação em 2007.

Na opinião do consultor que fez a mais recente avaliação independente bienal de gestão – outra das singularidades da Organização –, quatro problemas principais explicariam os recorrentes atrasos e aumentos nos custos de construção da máquina: a estrutura excessivamente hierarquizada e compartimentada da OI, a inexistência de uma “cultura de confrontação construtiva” entre chefes e subordinados, o grande número de conflitos não resolvidos entre a administração central e as Agências Domésticas e, por fim, a falta de liderança do então diretor-geral, o físico japonês Osamu Motojima, enfim substituído pelo francês Bernard Bigot em março de 2015. Cumpre recordar que, como vimos em detalhe na seção 2.2, a lógica dos arranjos licitatórios cotados em IUAs foge da estrita racionalidade econômico-financeira, pois impede até mesmo que se conheça o custo exato do *tokamak* (as aproximações apontam para um valor entre quarenta bilhões e cinquenta bilhões de reais, 45% arcados pela Euratom e o restante dividido em partes iguais entre os seis demais membros).

Sem entrar no mérito de cada uma dessas críticas, cabe apenas reiterar que a OI-ITER não é uma empresa privada ou um empreendimento nacional com a missão de construir um *tokamak* pelo menor custo e menor prazo, mas sim uma organização internacional com o objetivo de demonstrar a viabilidade científica e tecnológica da energia de fusão e, no processo, ampliar a capacitação da indústria de alta tecnologia de seus membros. Independentemente da consecução de sua meta central no domínio da energia, o projeto gerará

significativas derivações em supercondutores, vácuo, materiais ultrarresistentes, aquecimento a temperaturas extremamente altas, criogenia e refrigeração a temperaturas extremamente baixas, diagnósticos, supercomputação e robótica, entre outras áreas. Espera-se que o ITER abra novo capítulo na engenharia de materiais e ofereça aos setores produtivos de seus membros o domínio de tecnologias industriais que vão do zero absoluto (-273°C) a 150 milhões de graus centígrados.

De acordo com os cronogramas mais recentes da OI-ITER, a montagem do reator de Cadarache deverá ser concluída em 2020, contra a previsão inicial de 2015, e com grandes probabilidades de novos atrasos (de dois a três anos, no mínimo). Os problemas apontados na avaliação de gestão de 2013 pesaram para essa sequência de adiamentos, mas talvez não tenham sido tão decisivos quanto a crise econômica de 2008 e o terremoto/maremoto japonês de 2011 (que prejudicou por quase um ano os aportes nipônicos ao projeto). O fato é que, em algum momento da próxima década, começará a fase de operação da máquina, abrindo nova etapa de cooperação internacional com países não membros (nunca é demais recordar que a hipótese de adesão de um novo membro pleno já não faz sentido diante da alocação de todos os arranjos licitatórios de maior valor e conteúdo tecnológico). É desejável, portanto, que nossa rede de setores de ciência e tecnologia (SECTECs) no exterior continue a acompanhar e informar a Secretaria de Estado das Relações Exteriores (SERE) sobre os desdobramentos da fase final de construção e da fase inicial de operação, bem como sobre a dimensão dos *spin-offs*, com ênfase para o uso de nióbio em supercondutores.

A Organização ITER é um estudo de caso em evolução, que merece a atenção permanente de nossos Postos, sobretudo da Missão do Brasil junto à AIEA e das Embaixadas em Londres (por conta do JET), Moscou, Nova Delhi, Paris, Pequim, Seul, Tóquio e Washington – todos no desempenho de sua clássica missão de “antenas” do Brasil no

estrangeiro. A Embaixada em Paris, em particular, poderia ser instada a manter interlocução direta com a administração de Cadarache, cujas instalações são regularmente visitadas por delegações de países não membros. Embora seja um formato em construção, ainda não completamente testado, algumas inovações da OI-ITER (o mecanismo de arranjos licitatórios e a unidade especial de conta, por exemplo) poderão servir de inspiração a iniciativas internacionais do Brasil em outros contextos, como o sul-americano e o da cooperação Sul-Sul – afinal, é inegável que o ITER é um modelo pensado para grandes parcerias tecnológicas de natureza assimétrica.

b) o “Destino”

Do ponto de vista da aplicação prática das reações term nucleares controladas, a grande certeza em relação ao ITER é a de que ele não gerará um único quilowatt de potência elétrica e tampouco demonstrará a viabilidade econômica da energia de fusão. Trata-se de uma máquina experimental. Sua meta é a de abrir o caminho científico-tecnológico primeiro para os reatores de demonstração – que, como aponta o cenário “multi-DEMO”, dificilmente serão construídos por um único esforço cooperativo internacional – e depois para as usinas comerciais de fusão por confinamento magnético. Por volta de 2030, com base na experiência acumulada por cientistas e engenheiros em Cadarache, começará o momento decisivo dos *fusion power roadmaps* dos diferentes membros da OI-ITER. Só então será possível saber se a fusão nuclear estará efetivamente à disposição dos planejadores energéticos na segunda metade deste século. Como dito em várias oportunidades ao longo deste livro, descontada a hipótese dos reatores híbridos que a russa Rosatom cogita construir já na próxima década, a fusão poderá ser resposta aos desafios climáticos e ao esgotamento das fontes fósseis somente a partir de 2050 – supondo que tudo corra bem no percurso científico-tecnológico do ITER e que, ao fim e ao cabo, o preço do quilowatt/hora do DEMO se revele competitivo. Segundo

as estimativas mais otimistas (do *roadmap* da EFDA/Eurofusion), a participação da fusão na matriz elétrica mundial não superará 30% no ano de 2100⁵⁷⁸. Estimativas como essas pertencem ao domínio dos futurólogos, mas são reveladoras de que, mesmo entre as vozes mais otimistas, a fusão nuclear deverá servir como importante elemento de um novo paradigma energético global, mas não será o único.

Para grandes importadores de energia, com forte dependência de fontes fósseis (o caso de todos os membros da OI-ITER, exceto a Rússia no que se refere à dependência externa), são compreensíveis os investimentos maciços no desenvolvimento de alternativas limpas e seguras como a dos reatores movidos somente a hidrogênio (deutério) e lítio (fonte de trítio em ciclo fechado). Em uma visão determinista do progresso das tecnologias de energia, essa seria, aliás, a continuação lógica do emprego de fontes cada vez mais densas: da lenha ao carvão, do carvão ao petróleo, do petróleo ao urânio, do urânio ao hidrogênio (combustível DT). No entanto, diante das conhecidas dificuldades práticas que, desde os anos 1960, fazem da fusão uma “solução dentro de três décadas”, a concretização de seu potencial continua a exigir dos países interessados políticas determinadas e pertinazes, além de uma capacidade de planejamento de longuíssimo prazo. No capítulo 3, vimos que os participantes da OI-ITER trabalham com metas para os próximos trinta ou até sessenta anos. Pode-se duvidar do realismo de alguns desses planos, mas é louvável o fato de eles existirem.

No caso da Euratom e do Japão, unidos pela “Abordagem Ampla”, o planejamento de longo prazo inclui as ações das respectivas diplomacias científico-tecnológicas, interessadas – sobretudo a europeia – em identificar parceiros para a implementação de seu *roadmap*, dentro e fora do contexto ITER. Em tema com potencial para causar avassaladoras transformações na distribuição de poder econômico e tecnológico no mundo, é recomendável que o Itamaraty coordene

578 ACORDO EUROPEU PARA O DESENVOLVIMENTO DA FUSÃO. *Fusion Electricity: a roadmap to the realisation of fusion energy*, p. 5.

esforço prospectivo e proativo semelhante ao europeu. Nas próximas duas décadas, se avançarmos em nosso programa doméstico de fusão e ampliarmos nossa capacitação tecnológico-industrial na energia nuclear como um todo, teremos condições de fazer o que não foi possível em 2006 e somar-se a iniciativas internacionais para o desenvolvimento de reatores de demonstração e de usinas comerciais. Conforme indica o capítulo 3, não faltarão governos, centros de pesquisa e empresas interessadas em sinergias e em novos projetos cooperativos internacionais.

Seria desejável, ainda, um acompanhamento atento das recentes movimentações da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e da Agência Internacional de Energia (AIE) no campo da energia de fusão – por meio da Delegação junto à AIEA e da Embaixada em Paris, respectivamente. Tal como informado na seção 3.8 (documento apresentado na reunião do SAGNE de abril de 2014), a AIEA poderá assumir papel mais ativo na coordenação de atividades internacionais de pesquisa, com ênfase nos reatores de demonstração. No caso da AIE, à luz do convite para que o Brasil integre seu Comitê de Coordenação de Energia de Fusão (FPCC), caberia avaliação conjunta entre MRE, MME e MCTI sobre a utilização do tema em nossa estratégia de gradual aproximação com aquela agência da OCDE.

c) o “Brasil na encruzilhada da fusão”

A Organização ITER deverá desacorrentar o “Prometeu” – ou os “Prometeus” – da fusão nuclear controlada⁵⁷⁹, e o Brasil, por suas dimensões e seu peso na cena global, não pode se dar ao luxo de ignorar o fato. Se não constituir um *game changer* na geopolítica da energia, a fusão nuclear certamente o será na do conhecimento. Como enfatizado pelo ministro das Relações Exteriores na abertura dos “Diálogos sobre Política Externa” (Brasília, 26 de fevereiro de 2014), “o mundo tem

⁵⁷⁹ Como vimos no capítulo 1, os “Prometeus” da fusão nuclear descontrolada, isto é, da bomba de hidrogênio, foram Edward Teller e Andrei Sakharov na década de 1950.

passado por transformações significativas, e o lugar do Brasil no mundo mudou, [em transformações que] incidem sobre a própria distribuição do poder mundial”. Ainda nas palavras do então chanceler Luiz Alberto Figueiredo Machado, “a política externa é parte integral do projeto nacional de desenvolvimento do Brasil – econômico, político, social, cultural” (e científico-tecnológico, poderíamos acrescentar). Nesse papel de instrumento do desenvolvimento, prossegue Figueiredo, “uma política externa sem perspectiva estratégica de longo prazo torna-se reativa, sem direção”, mas “uma política externa alheia às aspirações da sociedade torna-se carente de sustentação e respaldo”.

Com efeito, a sustentação e o respaldo de uma ação externa acoplada a um programa nacional de fusão terão de vir, em última análise, dos segmentos interessados da sociedade brasileira: dos “construtores de *tokamaks*” (como os cientistas de talento e criatividade que conceberam e montaram sozinhos, no Brasil de fins dos anos 1970, apesar de todas as adversidades e carências, uma máquina capaz de produzir plasmas de quase dez milhões de graus centígrados – e continuam nessa trilha até hoje); aos estudantes de engenharia e de física nas universidades brasileiras ou nos cursos especiais proporcionados por programas de capacitação como o “Ciência sem Fronteiras”, que certamente acompanharão com desejo de emulação o progresso de nove das dez maiores economias globais no Projeto ITER. Terão de vir também de trabalhadores, empresários, políticos, gestores e, claro, dos próprios diplomatas – no cumprimento de sua obrigação de acompanhar e analisar o que acontece de mais significativo no mundo, sempre pelo prisma do interesse nacional.

Na “encruzilhada da energia de fusão”, este livro defende que, como na formulação de Azeredo da Silveira, o Brasil reconheça a obrigação de “encarar seu papel no mundo em termos prospectivos fundamentalmente ambiciosos”, com “vastidão de interesses e escopo de atuação”. É claro que isso não equivale a um mandato para embarcar em todos os grandes projetos científico-tecnológicos, muitas vezes

sem qualquer lastro em nossas condições objetivas. A abordagem pragmática e gradual do governo brasileiro ao não ingressar na OI-ITER em 2006 foi correta, fruto de uma avaliação realista e responsável das circunstâncias naquele momento histórico. Seu maior mérito, no entanto, foi o de reconhecer a importância do estabelecimento de uma base interna e da abertura de portas externas – que, se bem aproveitadas e ampliadas, permitirão ao Brasil seguir o caminho dos membros da OI-ITER no momento oportuno. Hoje, temos à disposição o potencial das fontes renováveis (biomassa, hidráulica, eólica, solar fotovoltaica) e os recursos do Pré-Sal e do urânio (o “Pré-Sol”), mas até o final do século, se quisermos manter o *status* de potência energética e prosseguir no curso do desenvolvimento sustentável⁵⁸⁰, alternativas terão de surgir para o *baseload* de nosso sistema elétrico – ou para a manutenção de uma hipotética economia do hidrogênio (aqui entendido como um vetor energético em substituição à eletricidade). Nesse contexto, a fusão nuclear poderá constituir uma apólice de seguro energético a preços módicos (em especial, se objeto de um “contrato coletivo” internacional).

Ao Itamaraty, que desde Rio Branco reconhece no progresso científico-tecnológico uma característica incontornável do mundo contemporâneo e uma variável essencial na redefinição do equilíbrio de poder mundial, cabe o papel mais imediato de manter e, se possível, ampliar as portas abertas ao *mainstream* da fusão nuclear. Em primeiro lugar, é recomendável que o Comitê de Coordenação previsto pelo acordo Brasil-Euratom de 2009 comece a trabalhar com a maior brevidade possível, mesmo que no formato do “GT informal” de 2010. Como vimos no capítulo anterior, a cooperação com os europeus já

580 Vale mencionar que a destinação de parte dos recursos do Pré-Sal à educação deverá oferecer grande contribuição ao aumento de nossa capacitação científico-tecnológica. Em entrevista a “O Estado de S. Paulo” (10 de fevereiro de 2013), o astrônomo Brian Schmidt, Nobel da Física em 2011, disse: “O Brasil tem quase 200 milhões de pessoas e posso garantir que o talento está espalhado igualmente por toda a população, em todos os lugares; então, para obter o melhor custo-benefício nos investimentos, você precisa incorporar o maior número possível de pessoas ao sistema. Mas também não adianta investir numa coisa só de cada vez; a pesquisa, as universidades, as escolas e a indústria têm de avançar simultaneamente”.

é uma realidade. A inoperância do acordo e de seus mecanismos de coordenação bilateral poderá empurrar os projetos existentes – alguns de notável potencial, como o dos superamplificadores desenvolvidos pela USP – para a informalidade ou, ainda pior, para a esfera dos interesses exclusivos da parte europeia. Conforme consta do comunicado conjunto da VII Cúpula Brasil-UE (Bruxelas, 24 de fevereiro de 2014), a reunião do Comitê de Coordenação Brasil-Euratom em um futuro próximo permitirá a formalização da colaboração ora em curso e a definição de um programa de trabalho conjunto, em continuidade às diretrizes traçadas há quatro anos pelo “GT informal”. Tendo em mente a liderança da Europa na pesquisa e desenvolvimento em fusão (a Euratom corresponde, vale lembrar, a quase metade do ITER) e a diversidade das instituições acadêmicas participantes da Eurofusion, um objetivo tático a priorizar poderia ser o do aperfeiçoamento de recursos humanos – não só por meio do envio de brasileiros à UE, mas também da vinda de professores e pesquisadores europeus ao país.

Em uma segunda etapa, que acompanhe os desdobramentos internos da RNF e do LFN, o Brasil poderia explorar oportunidades de cooperação na área de fusão nuclear com outros membros da OI-ITER, em especial com nossos sócios do Brics. Na Cúpula de Fortaleza-Brasília (15 e 16 de julho de 2014), os líderes de Brasil, África do Sul, China, Índia e Rússia concordaram em fortalecer sua cooperação em ciência, tecnologia e inovação, incluindo a “geração conjunta de conhecimento e de processos, serviços e produtos inovadores por meio dos instrumentos adequados de investimento e financiamento”⁵⁸¹. A energia de fusão e seus *spin-offs* poderiam ser objeto de consideração do grupo, talvez vinculada a uma iniciativa mais ampla para os usos pacíficos da energia nuclear (afinal, os cinco países contam com a fissão em suas matrizes elétricas).

581 *Sixth BRICS Summit*: Fortaleza Declaration and Action Plan. Disponível em: <brics6.itamaraty.gov.br>. Ao mencionar os Brics, vale recordar que uma das preocupações externadas na IV Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável (Brasília, 2010) foi o distanciamento do Brasil em relação aos demais países do bloco (que, na época, ainda não contava com a África do Sul).

Outra avenida de cooperação internacional a explorar diz respeito à implantação do LFN no complexo do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), em Iperó, iniciativa de grande relevo para a medicina nuclear, sobretudo no campo cada vez mais sofisticado dos diagnósticos. O RMB será construído em parceria com a Argentina, com participação da INVAP, de Bariloche – um dos símbolos da refundação do programa nuclear argentino em bases sólidas, depois da lamentável experiência com Ronald Richter e seus fictícios experimentos de fusão na ilha de Huemul. Embora não tenham experiência direta com *tokamaks*, os argentinos dominam a técnica dos microrreatores de fusão por plasmas densos magnetizados (*plasma focus*)⁵⁸², que é, inclusive, objeto de programa de cooperação na área de “aplicações inovadoras da fusão termonuclear” com o Chile. A Universidade Nacional do Centro, em Tandil (Província de Buenos Aires), é referência internacional nessa especialidade da fusão nuclear, que apresenta grande potencial para aplicações industriais – e, quem sabe, para uma inovadora colaboração entre brasileiros e argentinos. Em editorial da prestigiosa revista “Nature” em julho de 2014, a configuração de *plasma focus* chegou a ser mencionada como uma das mais promissoras – e menos onerosas – alternativas de fusão por confinamento magnético⁵⁸³.

A inovadora Organização ITER não é o primeiro nem será o último “clube” de conhecimento. Os caminhos da fusão nuclear são múltiplos e vão muito além do reator experimental de Cadarache, mas o objetivo é sempre o mesmo: o acúmulo de poder econômico e tecnológico por meio do domínio de fonte virtualmente inesgotável

582 Entrevista do prof. dr. Ricardo Galvão ao autor, 10 de maio de 2014.

583 Revista “Nature”, 23 de julho de 2014. No editorial (“*Fusion furore*”), a “Nature” reconhece os méritos e a utilidade do ITER, mas alerta para o risco de a concentração de recursos no reator de Cadarache inviabilizar a pesquisa em rotas alternativas, como a do *plasma focus* do laboratório privado Lawrenceville Plasma Physics (EUA) e do experimento de Tandil, além de outras soluções hoje desenvolvidas por centros públicos ou projetos de *venture capital*.

de energia e de suas derivações industriais. A julgar pelo exemplo dos participantes do ITER, a consecução dessa meta passa obrigatoriamente por planejamento de longuíssimo prazo, cooperação internacional e políticas públicas robustas em educação, pesquisa e inovação. Nossa participação nessa jornada dependerá de disposição e capacidade para pensar o Brasil de 2100 – e para implementar estratégias ambiciosas, mas, ao mesmo tempo, factíveis e persistentes, com o engajamento do Itamaraty, dos demais órgãos governamentais competentes e, enfim, de toda a sociedade brasileira.

Aberto por Einstein no transcendental ano de 1905, o caminho da energia de fusão é, em essência, o caminho do conhecimento – e é difícil imaginar que, fora dele, o Brasil possa “competir em recursos com os mais poderosos Estados do mundo”, como preconizado, também em 1905, por Rio Branco. A energia de fusão é apenas um entre tantos exemplos de como a diplomacia e a ciência poderão, juntas, contribuir para a construção de um Brasil cada vez mais sustentável, próspero e inclusivo no plano interno – e competitivo no externo.





REFERÊNCIAS



Referências Bibliográficas

1. Básica, primária e secundária

AGÊNCIA DE ENERGIA ATÔMICA DO JAPÃO (JAEA). *Fusion: future energy of the Earth*. Naka, 2008.

_____. *ITER: creating a sun on Earth*. Naka, 2009.

AGÊNCIA DE ENERGIA NUCLEAR (AEN). *Nuclear energy today*. Paris, 2005.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA (AIEA). *International status and prospects of nuclear power*. Viena, 2008.

_____. *Final report of the ITER engineering design activities*. Viena, 2001.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE). *Technology options: fusion power*. Paris, 2003.

_____. *2013 Key World Energy Statistics*. Paris, 2013.

AMADO, André Mattoso Maia. Energia. In: *IV Conferência de Política Externa e Política Internacional: o Brasil no mundo que vem aí*. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2009.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de. *A opção nuclear: 50 anos rumo à autonomia*. Rio de Janeiro: MAST, 2006.

BARROSO, Dalton Ellery G. *A física dos explosivos nucleares*. São Paulo: Livraria da Física, 2009.

BETHELL, Leslie (Org.). *Ideas and ideologies in 20th century Latin America*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BIRD, Kai; SHERWIN, Martin. *American Prometheus: the triumph and tragedy of J. Robert Oppenheimer*. Nova York: Vintage Books, 2006.

BODANSKY, David. *Nuclear energy: principles, practices and prospects*. Nova York: Springer, 2004.

BURATTINI, Maria Paula T. de Castro. *Energia: uma abordagem multidisciplinar*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. *Setor mineral: rumo a um novo marco legal*. Brasília, 2011.

CAMARGO, Guilherme. *O fogo dos deuses: uma história da energia nuclear*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2006.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. Alberto Santoro, o eterno estrangeiro. In: *Ciência e Sociedade*, 2011/3.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Livro Azul da IV Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Sustentável*. Brasília, 2010.

CHAVES, Alaor; FAZZIO, Adalberto (Orgs.). *Ciência para um Brasil competitivo*. Brasília: CAPES, 2007.

COMISSÃO EUROPEIA. *Investigação em fusão: uma opção energética para o futuro da Europa*. Bruxelas, 2004.

_____. *European Strategic Energy Technologies Plan (SET-PLAN)*. Bruxelas, 2007.

_____. *R&D needs and required facilities for the development of fusion as an energy source*. Bruxelas, 2008.

_____. *Fusion and industry: together for the future*. Bruxelas, 2009.

_____. *Strategic Research Agenda of the Sustainable Nuclear Energy Technology Platform*. Bruxelas, 2009.

_____. *Towards a robust management and governance of the ITER Project*. Bruxelas, 2010.

_____. *2013 EU energy in figures*. Bruxelas, 2013.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR DA ARGENTINA (CNEA). *Informe del Dr. José Antonio Balseiro referente a la inspección realizada en la isla Huemul en Septiembre de 1952*. Buenos Aires, 1988.

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA DOS EUA. *A review of the DOE plan for US fusion community participation in the ITER program*. Washington: National Academies Press, 2009.

CRUZ JR., Ademar Seabra da. *Diplomacia, desenvolvimento e sistemas nacionais de inovação: estudo comparado entre Brasil, China e Reino Unido*. Tese apresentada no LIV CAE. Brasília, 2009.

D'ARCY, François. *União Europeia: instituições, políticas e desafios*. Rio de Janeiro: Konrad Adenauer, 2002.

DEMO, Pedro. *Metodologia científica em ciências sociais*. São Paulo: Atlas, 2009.

DEPARTAMENTO DE ENERGIA DOS EUA. *Annual Energy Outlook 2014*. Washington, 2014.

FURTADO, João; URIAS, Eduardo. *Recursos naturais e desenvolvimento: estudos sobre o potencial dinamizador da mineração na economia brasileira*. São Paulo: IBRAM, 2013.

FUSER, Igor. *Energia e relações internacionais*. São Paulo: Saraiva, 2013.

GALVÃO, Ricardo M.O. *Brazilian Fusion Research Network*. In: *I Reunião Técnica Informal Brasil-EURATOM sobre Energia de Fusão*, Brasília, 2009.

GARWIN, Richard L.; CHARPAK, Georges. *Megawatts + Megatons: the future of nuclear power and nuclear weapons*. Chicago: University of Chicago Press, 2002.

GIANCARLI, L. M. et al. Overview of the ITER TBM Program. In: *Fusion Engineering and Design*, 2012/6.

GILLIES, James; CAILLIAU, Robert. *How the web was born*. Londres: Oxford University Press, 2000.

GILPIN, Robert. *The political economy of international relations*. Princeton: Princeton University Press, 1987.

GRAMMATICO-VIDAL, Laetitia. The International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) International Organisation: Which Laws Apply to this International Nuclear Operator? In: *Nuclear Law Bulletin OECD/NEA*, 2009/2.

GUIMARÃES, Leonam dos Santos. Estratégias de implementação e efeitos de arraste dos grandes programas de desenvolvimento tecnológico nacionais: experiências do Programa Nuclear da Marinha do Brasil. In: *Pesquisa Naval*, 2003/10.

HALICKI, Jan H.; GOLDWYN, David L. (Orgs.). *Energy and security: toward a new foreign policy strategy*. Washington: Woodrow Wilson Centre Press, 2005.

HARDING, Todd et al. International Fusion Energy Cooperation: ITER as a Case Study in Science and Diplomacy. *Science & Diplomacy*, 2012/1.

HAWKING, Stephen. *O universo numa casca de noz*. São Paulo: Mandarim, 2001.

HÉMERY, Daniel et al. *Uma história da energia*. Brasília: Editora UNB, 2007.

HOBE, Stephan et al. *A coherent European procurement law and policy for the space sector*. Berlin: LIT, 2011.

HOBSBAWM, Eric. *A era dos extremos*. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

HERMAN, Robin. *Fusion*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

KAISER, Ralf. *Strategy for the Development of Fusion at the IAEA*. Documento de trabalho apresentado na reunião do SAGNE/AIEA de abril de 2014.

KIM, Keeman. *Update on the conceptual study of the K-DEMO*. Apresentação na Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), 2013.

LAGO, André Corrêa do. *Estocolmo, Rio e Joanesburgo: o Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas*. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2007.

LEE, Gyung-Su. *Status of the K-STAR project and fusion research in Korea*. Apresentação no Instituto Nacional de Ciências da Fusão do Japão (NIFS), 2001.

LEE, Sangil et al. *Quality Management of the ITER Korea*. Apresentação no Instituto Nacional de Pesquisa em Fusão (NRFI), 2014.

LEITE, Antonio Dias. *A energia do Brasil*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LI, J. *Present Magnetic Confinement Fusion Activities and Future Roadmap in China*. Apresentação no Fusion Day, Lausanne, 2013.

LOUREIRO DE MATTOS, João Roberto; GUIMARÃES, Leonam dos Santos. *Gestão da tecnologia e inovação: uma abordagem prática*. São Paulo: Saraiva, 2012.

LUNA, Félix. *Breve historia de los argentinos*. Buenos Aires: Planeta, 1998.

MADIA & ASSOCIATES LLC. *Final Report of the 2013 ITER Management Assessment*. La Quinta e Montanara (Califórnia, EUA), 18 de outubro de 2013.

MAYOR, Federico; FORTI, Augusto. *Ciência e poder*. Campinas: Papyrus, 1998.

MARQUES, Gil da Costa (Org.). *IFUSP: passado e presente*. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

MAROTTA RANGEL, Vicente. *As organizações internacionais*. Apostila da Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, 1992.

MELO, Ovídio de Andrade. *Recordações de um removedor de mofo no Itamaraty*. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2009.

McCRACKEN, Garry; STOTT, Peter. *Fusion: the energy of the universe*. Boston: Elsevier, 2005.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. *Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015*. Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Plano Nacional de Mineração 2030*. Brasília, 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Nacional de Energia 2030*. Rio de Janeiro, 2007.

MOTOJIMA, Osamu. Specific Goals, Progress and needs of Talents for ITER Project. Apresentação ao *Collaborative Innovation Center for Advanced Fusion Energy and Plasma Science (CICAFEPS)*, Hefei, China, 2013.

NASCIMENTO, Cláudio A. O.; MORO, Lincoln F.L. Petróleo: energia do presente, matéria-prima do futuro? *Revista da USP*, 2011/3-5.

NEFFE, Jürgen. *Einstein: uma biografia*. São Paulo: Novo Século, 2012.

NEUREITER, Norman P. Science diplomacy in action. In: *IV Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação*, Brasília, 2010.

NGÔ, Christian. *Energia: o motor da humanidade*. São Paulo: SENAC, 2011.

NUTTALL, William. *Fusion as an energy source: challenges and opportunities*. Londres: Institute of Physics Report, 2008.

NUTTALL, William et al. A trip to fusion island. *The Engineer*, 2005/10.

OLIVEIRA, Ivan S.; VIEIRA, Cássio Leite (Orgs.). *Física hoje, uma aventura pela natureza: dos átomos ao universo*. Rio de Janeiro: ICH, 2007.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nova York, 2013.

PARKINS, William E. Fusion power: will it ever come? *Science*, v. 311, March 2006.

PARRAVICINI, Daniele et al. Practical management of Intellectual Property (IP) at the ITER Organization. In: *Conferência Europeia sobre Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia*, Barcelona, 2011.

PERUZZO, Jucimar. *Física e energia nuclear*. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

PIMENTEL, Fernando Meirelles de Azevedo. *O fim da era do petróleo e a mudança do paradigma energético mundial: perspectivas e desafios para a atuação diplomática brasileira*. Tese apresentada no LIV CAE. Brasília, 2009.

PINHEIRO GUIMARÃES, Samuel. *Desafios brasileiros na era dos gigantes*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2005.

PINHEIRO DA SILVA, Othon Luiz. Energia Nuclear. *Parcerias Estratégicas*, edição especial, v. 15, n. 31. Brasília, dezembro de 2010.

PRONTERA, Andrea. Energy policy: concepts, actors, instruments and recent developments. *World Political Science Review*, 2009/1.

REAL ACADEMIA SUECA DE CIÊNCIAS. *The BEH-mechanism, interactions with short range forces and scalar particles (Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2013)*. Estocolmo, 2013.

REBUT, Paul-Henri. From JET to the reactor. In: *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 2006/11.

RICUPERO, Rubens. *Rio Branco: o Brasil no mundo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2000.

ROCHA FILHO, Álvaro; GARCIA, João C. V. (Orgs.). *Renato Archer: energia atômica, soberania e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2006.

ROMERO, Luis Alberto. *Breve historia contemporánea de la Argentina*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 1994.

RUBEL, M. Fusion reactor materials and components: issues related to radioactivity and radiation induced effects. In: *Transactions of Fusion Science and Technology*, 2004/3.

SCHUMACHER, Uwe. Status and problems of fusion reactor development. In: *Naturwissenschaften*, 2001/3.

SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. *Informação sobre o programa “Ciência sem Fronteiras”*. Brasília, 2014.

SEIFE, Charles. *Sun in a bottle: the strange history of fusion and the science of wishful thinking*. London: Viking, 2008.

SPEKTOR, Matias (Org.). *Azaredo da Silveira: um depoimento*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010.

SRINIVASAN, R. India's strategy for fusion energy. In: *Seminário na Universidade de Princeton*, 2011.

STACEY, Weston M. *The quest for a fusion energy reactor*. Nova York: Oxford University Press, 2010.

SUPPO, Hugo Rogélio. Ciência e relações internacionais: o congresso de 1905. *Revista da SBHC*, 1/2003.

SWENSON, Peter. *Scheduling and its role in the management of ITER*. Apresentação à EFDA, julho de 2011.

TENNENBAUM, Jonathan. *Energia nuclear: dínamo da reconstrução econômica mundial*. Rio de Janeiro: Capax Dei, 2009.

VARANDAS, Carlos. Main aspects and lessons from the ITER Project governance. *Nukleonika*, v. 57, 2/2012.

VEIGA, José Eli da. *Energia nuclear: do anátema ao diálogo*. São Paulo: SENAC, 2011.

VELIKHOV, E. *Russian Strategy for Controlled Fusion*. Apresentação em seminário do Instituto de Física de Plasmas da Academia Chinesa de Ciências, Hefei, 2012.

VELLOSO, João Paulo dos Reis. *Manifesto por um Brasil desenvolvido*. Rio de Janeiro: INAE, 2013.

WEINBERG, Alvin M. *Impact of large-scale Science on the United States*. *Science*, v. 134, July 1961.

WILLIS, John. *Bringing a star to Earth*. Apresentação à NASA, Washington, 2005.

WOLF, Sebastian. Euratom, the European Court of Justice and the limits of nuclear integration in Europe. *German Law Journal*, v. 12, Aug. 2011.

_____. Integration durch Kernfusion? Zur Wiederbelebung der Euratom-Gründungsmythen. *Forum Recht*, 2007/1.

YAMADA, H. *Current Status of Discussion on Roadmap of Fusion Energy Research and Development in Japan*. Apresentação na Universidade de Princeton, 2011.

YE, Minyou. *Status of design and strategy for CFETR*. Apresentação à Conferência Internacional sobre Fusão, Quioto, 2013.

YERGIN, Daniel. *The prize: the epic quest for oil, money and power*. Nova York: Free Press, 2003.

_____. *The quest: energy security and the remaking of the modern world*. Nova York: Penguin Press, 2011.

ZALUAR, Achilles. *A não-proliferação nuclear e o Conselho de Segurança*. Tese apresentada no L CAE. Brasília, 2006.

2. Fontes primárias do Ministério das Relações Exteriores

- Despachos Telegráficos para a Delegação do Brasil junto à UE (19/2005)
- Circular Telegráfica 62.306/2006
- Telegrama da Missão do Brasil junto à UE (954/2013)
- Telegrama da Embaixada do Brasil em Londres (1347/2004)
- Telegrama da Embaixada do Brasil em Paris (597/2012)
- Telegrama da Embaixada do Brasil em Tóquio (1241/2013)
- Parecer CONJUR/MRE nº 10, de 11 de maio de 2009

3. Entrevistas

Embaixador HADIL DA ROCHA VIANNA, subsecretário-geral de Cooperação, Cultura e Promoção Comercial do MRE e diretor do DCT/MRE entre 2006 e 2011, 2 de maio de 2014.

Embaixador LÁERCIO VINHAS, representante permanente do Brasil junto à Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), 6 de maio de 2014.

Prof. dr. RICARDO GALVÃO, professor titular do Instituto de Física da Universidade de São Paulo e secretário-executivo da Rede Nacional de Fusão (RNF), 10 de maio de 2014.

Engenheiro ALEJANDRO ZURITA, chefe da Divisão de Cooperação Internacional (Euratom) da Direção-Geral de Pesquisa e Inovação da Comissão Europeia, 6 de maio de 2014.

4. Periódicos consultados

Jornal “Folha de S. Paulo”

Jornal “O Estado de S. Paulo”

Jornal “Valor Econômico”

Jornal “O Globo”

“Jornal do Senado”

Jornal “Correio da Manhã” (via Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional)

Jornal “Financial Times” (Reino Unido)

Jornal “Clarín” (Argentina)

Jornal “Boston Globe” (EUA)

Jornal “The New York Times” (EUA)

Revista “Nature” (Reino Unido)

Revista “Science” (EUA)

Revista “Physics Today” (EUA)

Revista “Physics World” (Reino Unido)

Revista “Scientific American” (EUA)

Revista “The New Yorker” (EUA)

Revista “The Economist” (Reino Unido)

Revista “El Periodista” (Argentina)

5. Principais sítios *web* consultados

Agência Internacional de Energia Atômica (<www.iaea.org>)

Acordo Europeu para o Desenvolvimento da Fusão (<www.efda.org>)

Agência Internacional de Energia (<www.iea.org>)

Agência Japonesa de Energia Atômica/AD Japão (<www.naka.jaea.go.jp>)

Arquivo Nacional dos EUA (<research.archives.org>)

Associação Nuclear Mundial (<www.world-nuclear.org>)

Biblioteca Presidencial Ronald Reagan (<www.reagan.utexas.edu>)

BP Energy Outlook (<www.bp.com>)

CINFEPEC/AD China (<www.iterchina.cn>)

Canal C-SPAN (<www.c-span>)

Centro de Pesquisa Atômica Bhabha (<www.barc.gov.in>)

Comissão Nacional de Energia Atômica da Argentina (<www.cnea.gov.ar>)

Comissão Nacional de Energia Nuclear/MCTI (<www.cnen.gov.br>)

Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (<www.cbmm.com.br>)

CPDOC/Fundação Getúlio Vargas (<cpdoc.fgv.br>)

Departamento de Energia dos EUA (<science.energy.gov/fes>; <www.eia.gov>)

Departamento Nacional de Produção Mineral/MME (<www.npm.gov.br>)

Empresa de Pesquisa Energética/MME (<www.epe.gov.br>)

Euratom (<ec.europa.eu/research/energy/euratom>)

Fusion for Energy/AD EURATOM (<fusionforenergy.europa.eu>)

Hemeroteca Digital da Biblioteca Nacional (<memoria.bn.br>)

IAMGOLD (<www.iamgold.com>)

Instituto Brasileiro de Mineração (<www.ibram.org.br>)

ITER-India/AD Índia (<www.iter-india.org>)

ITER-Korea/AD República da Coreia (<www.iterkorea.org>)

Laboratório de Plasma do Inpe (<www.plasma.inpe.br>)

Laboratório PLADEMA da Universidade Nacional do Centro, Argentina
(www.pladema.net)

Ministério das Relações Exteriores (www.itamaraty.gov.br)

Ministério de Minas e Energia (www.mme.gov.br)

Organização CERN (home.web.cern.ch)

Organização do Tratado para Proibição Completa dos Testes Nucleares
(www.ctbto.org)

Organização ITER (www.iter.org)

Rosatom ITER/AD Federação Russa (www.iterrf.ru; www.rosatom.ru)

Serviço Geológico dos Estados Unidos (minerals.usgs.gov)

Serviço Geológico Britânico (www.bgs.ac.uk)

Universidade de São Paulo (www.usp.br)

US-ITER/AD Estados Unidos (www.usiter.org)





ANEXOS



Anexo 1

Glossário técnico

arranjo licitatório (*procurement arrangement*): pacote de aquisição de componentes ou sistemas atribuído à Agência Doméstica de um membro da OI-ITER.

água pesada: molécula de água em que o deutério substitui o hidrogênio comum.

átomo: a menor unidade de um elemento químico, composto por um núcleo denso de carga elétrica positiva envolto por um ou mais elétrons de carga elétrica negativa.

balanço energético positivo: geração de energia superior à do *breakeven*. Costuma ser medido em termos proporcionais (a quantidade de energia gerada dividida pela quantidade de energia consumida).

***breakeven*:** ponto em que a energia liberada pelas reações de fusão é igual à energia utilizada para aquecer o plasma.

camada fértil: superfície parcialmente composta por lítio, que, ao reagir com os nêutrons das reações de fusão entre deutério e trítio, produz mais trítio.

campo poloidal: campo magnético gerado pela corrente induzida no plasma (se o ITER fosse um globo terrestre, as bobinas do campo poloidal ocupariam o lugar das latitudes).

campo toroidal: campo magnético gerado por eletroímãs externos ao plasma (se o ITER fosse um globo terrestre, as bobinas do campo toroidal ocupariam o lugar das longitudes).

combustível DT: combustível de fusão nuclear formado por partes iguais de deutério e trítio.

criogenia: tecnologias de temperaturas muito baixas.

DEMO: nome genérico de um reator de demonstração da geração de eletricidade a partir da fusão nuclear.

deutério: isótopo do hidrogênio com um próton e um nêutron.

diversor: uma espécie de filtro para eliminar as impurezas e partículas indesejáveis no plasma.

elemento: um átomo com propriedades químicas únicas, caracterizado por número específico de prótons em seu núcleo.

energia de ligação: energia necessária para formar ou separar os núcleos atômicos.

espectrógrafo de massa: instrumento para medir a massa atômica de um elemento.

elétron: partícula elementar ultraleve de carga elétrica negativa.

espalação: tipo de reação nuclear, normalmente em aceleradores lineares, que provoca a emissão de nêutrons, prótons ou outras partículas.

ELM (*edge-localized mode*): instabilidades nas extremidades do plasma, comparáveis às erupções solares.

fator de capacidade: proporção entre a produção de energia em um dado período e a capacidade instalada da usina nesse mesmo período.

fator de eficiência termodinâmica: proporção entre a produção de energia elétrica (medida em W_e) e a produção de energia térmica (medida em W_t) dentro de uma usina. O fator de eficiência em reatores nucleares de fissão costuma oscilar entre 33% e 37%.

fissão nuclear: divisão de um núcleo pesado em dois núcleos mais leves com liberação de energia.

força eletromagnética: uma das quatro forças fundamentais da natureza, responsável pela atração entre prótons e elétrons.

força nuclear: a chamada “interação forte”, uma das quatro forças fundamentais da natureza, responsável pela coesão de prótons e nêutrons no núcleo atômico.

fusão nuclear: combinação de dois núcleos leves em um núcleo mais pesado com liberação de energia.

fusão nuclear controlada: reações não explosivas de fusão em uma máquina como um *tokamak* ou um *stellarator*.

fusão por confinamento gravitacional: reações de fusão causadas pelas forças gravitacionais no interior de uma estrela.

fusão por confinamento inercial: reações de fusão causadas pela rápida compressão e aquecimento do plasma.

fusão por confinamento magnético: reações de fusão causadas por altas temperaturas e altas densidades em plasmas contidos por campos magnéticos de uma determinada duração.

hádron: nome genérico de partículas elementares.

H-mode: um regime mais estável de confinamento do plasma, sobretudo em suas extremidades.

hidrogênio: o mais comum e mais leve dos elementos, composto por um próton (hidrogênio simples), um próton e um nêutron (deutério) ou um próton e dois nêutrons (trítio). É também o nome do gás H₂, um potencial vetor energético.

igniçãõ: ponto da fusão por confinamento magnético em que as reações se tornam autossustentadas (sem necessidade de aquecimento externo).

íon: átomo que tem um número de elétrons maior ou menor que o de prótons e tem, portanto, carga elétrica negativa ou positiva.

isótopos: variações de um elemento químico com o mesmo número de prótons, mas com um número diferente de nêutrons (as características químicas são as mesmas, mas a massa é diferente).

laser: amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.

massa atômica: a massa de um átomo em relação à massa padrão (12 unidades) de um átomo simples de carbono.

massa crítica: quantidade de material físsil suficiente para gerar espontaneamente reações em cadeia.

materiais de baixa ativação: materiais que emitem baixos níveis de radioatividade mesmo após a exposição prolongada aos nêutrons gerados pela fusão.

meia-vida: tempo necessário para um elemento radioativo perder metade de sua radioatividade original.

nêutron: partícula elementar de carga elétrica neutra; nas reações de fusão, os nêutrons rápidos “carregam” 80% da energia gerada.

núcleo atômico: o centro denso do átomo, com carga elétrica positiva.

núcleon: nome genérico para um próton ou um nêutron.

nucleossíntese: processo de formação dos elementos nas estrelas.

número atômico: número de prótons em um átomo.

ondas Alfvén: tipo de oscilação no plasma.

parâmetros de Lawson: parâmetros mínimos de temperatura, densidade e duração para a obtenção de plasmas com balanços energéticos positivos.

partícula alfa: núcleo simples de hélio, normalmente produzido em reações de fusão.

pinch: sistema de confinamento magnético do plasma pela compressão de uma corrente elétrica (efeito de “pinça”).

plasma: o quarto estado da matéria, no qual os núcleons circulam separados dos elétrons.

próton: partícula elementar com carga elétrica positiva.

radiação: emissão de energia na forma de ondas ou partículas.

radioatividade: desintegração espontânea do núcleo de certos elementos com emissão de radiação eletromagnética do tipo alfa, beta ou gama.

reação em cadeia: na fissão nuclear, a sequência de reações desencadeadas por nêutrons produzidos no processo de separação dos núcleos pesados.

solenóide: bobina ou eletroímã enrolado em forma de hélice.

stellarator: sistema de confinamento magnético do plasma apenas por bobinas externas em configuração especial (sem corrente induzida no interior do plasma).

supercondutor: tipo de material que perde a resistência elétrica quando resfriado a baixíssimas temperaturas.

toroide: forma geométrica semelhante a uma argola (em inglês, costuma ser comparada à forma de um *donut*, uma “rosquinha”).

tokamak: sistema de confinamento magnético do plasma; câmara toroidal com bobinas magnéticas.

trítio: isótopo levemente radioativo do hidrogênio, composto por um próton e dois nêutrons.

Anexo 2

Cronologia da energia de fusão

- 1905** Einstein deduz que massa e energia são equivalentes.
- 1918** Aston inventa o espectrógrafo de massa e descobre os isótopos do hidrogênio.
- 1920** Eddington deduz que a fusão nuclear é a origem da energia do Sol e das estrelas.
- 1929** Gamow, Atkinson e Houtermans desenvolvem a teoria da energia estelar.
- 1933** Oliphant demonstra a fusão nuclear em laboratório.
- 1938** Bethe e von Weizsäcker desenvolvem a teoria da nucleossíntese estelar.
- 1941** Fermi e Teller especulam sobre um explosivo de fissão-fusão.
- 1950** Sakharov e Tamm concebem o *tokamak* em Moscou.
- 1951** Teller e Ulam concebem projeto de bomba de hidrogênio.
Perón anuncia o “domínio” da fusão nuclear controlada pela Argentina.

Spitzer concebe o *stellarator* em Princeton.

Bohm deixa os EUA e muda-se para o Brasil; leciona na USP.

1952 Os EUA testam a primeira bomba termonuclear no Oceano Pacífico.

O relatório Balseiro revela a farsa de Ronald Richter na Argentina.

1954 Os EUA realizam o teste “Castle Bravo” no atol de Bikini.

1955 A URSS testa sua primeira bomba termonuclear no Cazaquistão.

Bhabha prevê em Genebra que a energia de fusão será “realidade em vinte anos”.

1957 Kurchatov revela em Londres o programa soviético de energia de fusão.

Os EUA lança o projeto *Plowshare* de “explosões nucleares pacíficas”.

É assinado o tratado de criação da Euratom.

1958 Reino Unido anuncia o “domínio” da fusão nuclear controlada (episódio ZETA).

É organizada em Genebra a II Conferência dos Usos Pacíficos da Energia Nuclear.

1961 I Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Salzburgo (Áustria).

A URSS realiza o teste da “bomba Tsar” na Nova Zemlia.

1965 II Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Culham (Reino Unido).

- A URSS lança o “Programa 7” de “explosões nucleares pacíficas”.
- A China inicia o programa doméstico de pesquisa em fusão.
- 1968** III Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Novosibirsk (URSS).
- Artsimovitch compartilha os primeiros resultados do *tokamak*.
- 1969** Parceria britânico-soviética confirma o êxito do *tokamak*.
- 1971** IV Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Madison (EUA).
- 1972** A AIEA cria o Conselho Internacional de Pesquisa de Fusão (IFRC)
- 1974** V Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Tóquio.
- USP, Unicamp e UFRGS criam os primeiros grupos de fusão no Brasil.
- EUA e URSS assinam acordo de cooperação em fusão.
- 1975** A AIEA cria o Comitê de Coordenação de Energia de Fusão (FPCC).
- 1976** VI Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Berchtesgaden.
- 1977** O Reino Unido é definido como sede do JET.
- 1978** VII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Innsbruck.
- O JET é criado pela Euratom no formato de *Joint Undertaking*.
- A AIEA cria o INTOR *Workshop*.
- 1979** Entra em operação o primeiro *tokamak* da América Latina (TBR-1, na USP).
- A Suíça torna-se membro associado da Euratom.

- 1980** VIII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Bruxelas.
- 1981** O Brasil lança o seu primeiro programa de fusão, mas não o implementa.
- 1982** IX Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Baltimore.
- 1984** X Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Londres.
É inaugurado em Culham o JET.
- 1985** Gorbatchov propõe a Reagan uma iniciativa bilateral em fusão (ITER).
- 1986** XI Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Quioto.
A Índia inicia seu programa doméstico de pesquisa em fusão.
- 1987** O Brasil lança novo programa de fusão, mas não o implementa.
- 1988** XII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Nice.
É criado o GT do projeto conceitual do ITER.
- 1989** Cientistas da Universidade de Utah anunciam a “descoberta” da fusão a frio.
- 1990** XIII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Washington.
- 1991** USP, Unicamp e Inpe concebem projeto pioneiro de *tokamak* esférico.
- 1992** XIV Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Würzburg.
Euratom, EUA, Rússia e Japão assinam acordo referente ao Projeto ITER.
- 1994** XV Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Sevilha.
- 1996** XVI Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Montreal.

- 1997** O JET alcança 16 MWt de potência térmica (recorde até hoje).
- 1998** XVII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Yokohama.
- 1999** Os EUA abandonam o ITER.
É criado o Acordo Europeu de Desenvolvimento da Fusão (EFDA).
A USP inaugura o TCABR (comprado na Suíça).
- 2000** XVIII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Sorrento.
- 2001** É concluído o projeto de engenharia do ITER. Começa a disputa pelo local do reator.
- 2002** XIX Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Lyon.
O Inpe propõe um programa brasileiro de fusão.
- 2003** Os EUA regressam ao ITER.
A China e a República da Coreia aderem ao ITER.
- 2004** XX Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Vilamoura.
- 2005** A Índia adere ao ITER.
Entendimento nipo-europeu define Cadarache como local de construção do ITER.
A República da Coreia lança seu Plano Nacional de Energia de Fusão.
- 2006** É assinado o acordo constitutivo da Organização ITER.
O Brasil cria a Rede Nacional de Fusão (RNF).
XXI Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Chengdu.

2007 É instalada a OI-ITER, com Kaname Ikeda como seu primeiro DG.

A OI-ITER assina com a França o acordo de sede.

Euratom e Japão estabelecem a “Abordagem Ampla”.

2008 XXII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Genebra.

A OI-ITER assina acordos com a AIEA, a Organização CERN e Mônaco.

Brasil e Euratom iniciam a negociação de acordo sobre energia de fusão.

O Plano Plurianual (PPA) prevê a construção de laboratório de fusão no Brasil.

2009 Brasil e Euratom assinam acordo sobre energia de fusão.

2010 XXIII Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Daejeon.

Osamu Motojima assume a Direção-Geral da OI-ITER.

2011 A Rosatom assume o papel de AD russa na OI-ITER.

2012 XXIV Conferência de Energia de Fusão da AIEA em San Diego.

O EFDA divulga o *roadmap* europeu da fusão.

O Congresso Nacional aprova o acordo Brasil-Euratom de 2009.

2013 William Madia apresenta relatório independente de avaliação da gestão da OI-ITER.

A CNEN decide que o laboratório brasileiro de fusão (LFN) será construído em Iperó.

2014 XXV Conferência de Energia de Fusão da AIEA em São Petersburgo.

Os EUA anunciam os primeiros experimentos exitosos com fusão a *laser* (NIF).

2015 Bernard Bigot assume a Direção-Geral da OI-ITER.

2016 XXVI Conferência de Energia de Fusão da AIEA em Quioto.

2020 Término previsto da construção do ITER; início da fase de operação.

2027 Previsão de primeiro plasma com deutério-trítio no ITER.

2030 Previsão de entrada em operação do primeiro reator russo de fusão-fissão.

2037 Previsão de entrada em operação do DEMO sul-coreano (K-DEMO).

2040 Previsão de entrada em operação do DEMO europeu e japonês.

2042 Expiração do acordo constitutivo da OI-ITER (com possível prorrogação até 2052).

2045 Previsão de entrada em operação do DEMO chinês.

2065 Previsão de entrada em operação do primeiro reator indiano de fusão.

Anexo 3

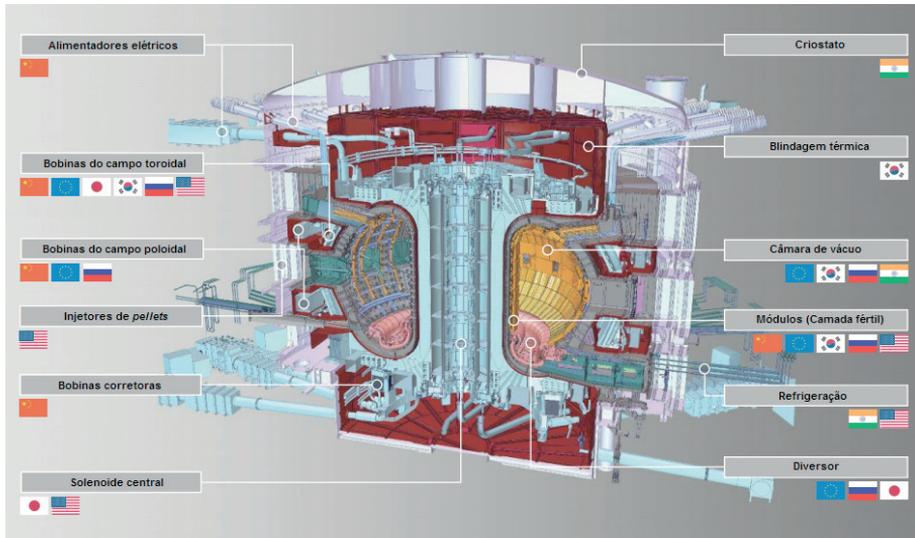
Quadro sinótico dos membros da OI-ITER

(incluindo comparação com o Brasil)

	Pop.	PIB	PIBpc	OIE	TWh	CO2	%Dep.E	%RD/PIB
EURATOM	513	17.290	33.704	1.782	3.359	4.253	54	2,3
China	1.351	8.227	6.090	2.810	4.433	7.954	13	1,8
EUA	314	16.244	51.732	2.242	4.127	5.287	20	2,8
Fed. Russa	143	2.014	14.084	743	927	1.653	-43	1,2
Índia	1.237	1.858	1.502	754	835	1.745	28	0,8
Japão	128	5.961	46.570	472	1.003	1.186	89	3,3
Rep. da Coreia	50	1.129	22.580	274	506	588	83	3,7
Total OI-ITER	3.736	52.723	14.112	9.077	15.190	22.666	23	2,5
Brasil	198	2.252	11.374	270	480	408	11	1,2

Pop. (população em milhões); **PIB** (produto interno bruto em bilhões de dólares EUA); **PIBpc** (PIB *per capita* em dólares EUA); **OIE** (oferta interna de energia em milhões de toneladas equivalentes de petróleo); **TWh** (geração de eletricidade em TWh); **CO2** (emissões de CO2 em milhões de toneladas); **%Dep.E** (dependência energética: percentagem das importações na oferta interna de energia); **%RD/PIB** (percentual do PIB investido em pesquisa e desenvolvimento). *Fontes: Banco Mundial e Agência Internacional de Energia (dados para 2011). Elaboração própria.*

3.1 - Esquema do reator de Cadarache

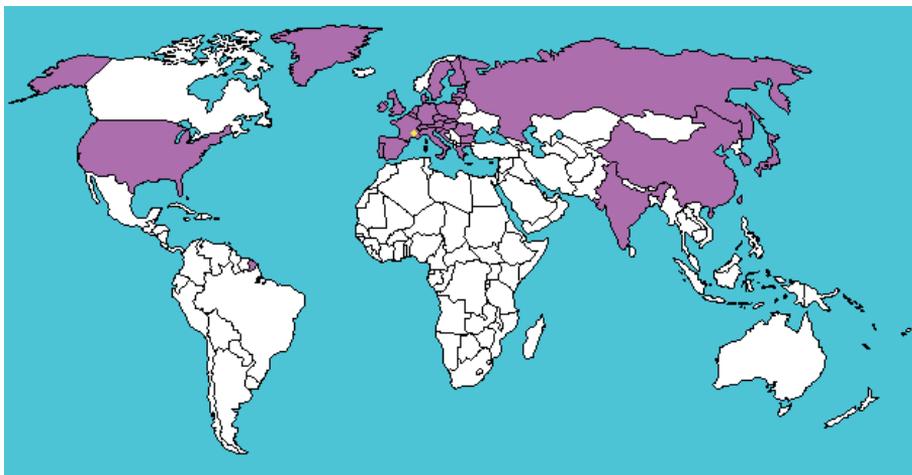


Elaboração própria com base em imagem da OI-ITER.

Anexo 4

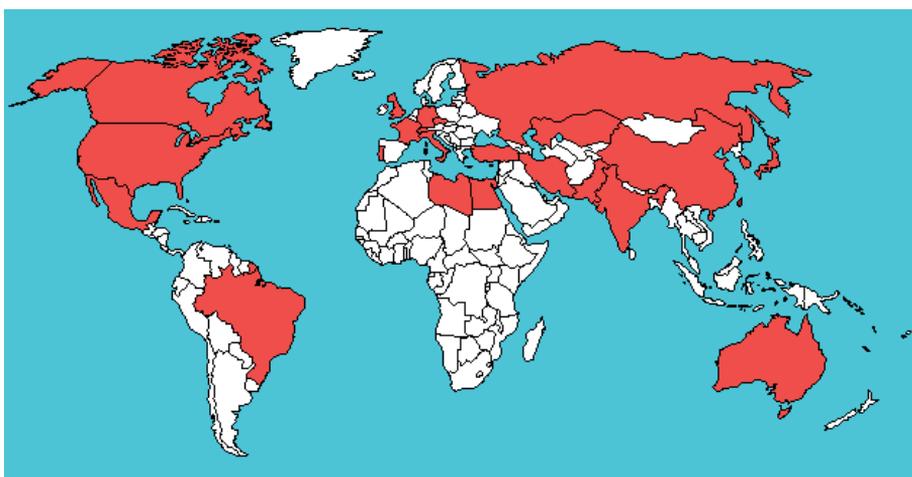
Mapas

4.1 - Membros da OI-ITER



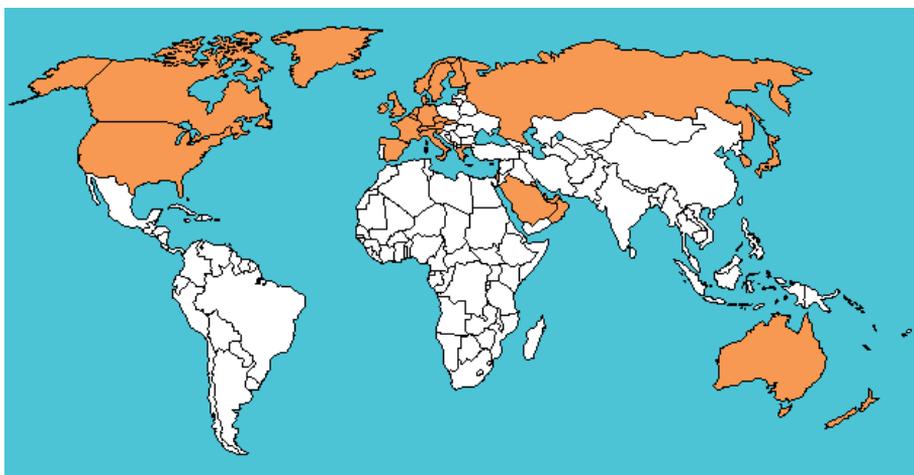
Elaboração própria.

4.2 - Países com tokamaks (em operação)



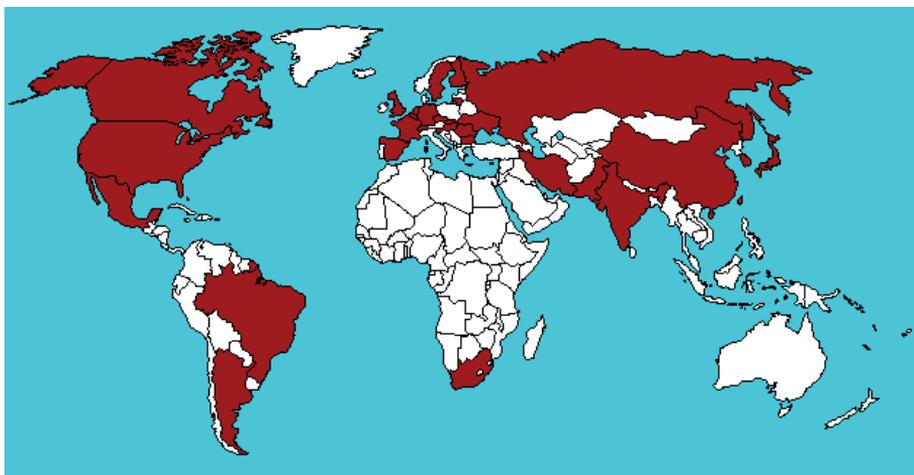
(Fonte: tokamak.info, 2012). Elaboração própria.

4.3 - Países com alto consumo *per capita* de eletricidade (>5 MWh/hab.)



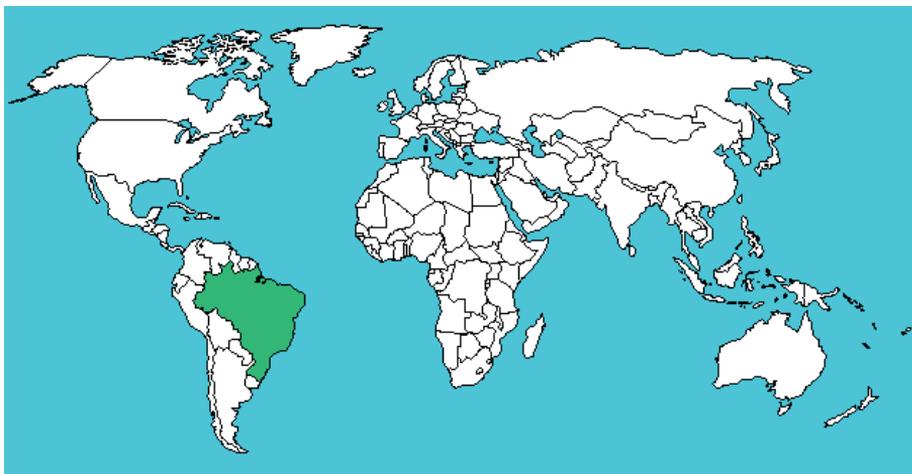
(Fonte: AIE, 2011). Elaboração própria.

4.4 - Países com usinas nucleares de fissão (em operação)



(Fonte: WNA, 2014). Elaboração própria.

4.5 - Países com grandes reservas de nióbio*



* superiores a 200 mil toneladas recuperáveis de Nb₂O₅
(Fonte: BGS, 2014). Elaboração própria.

4.6 - Países com grandes reservas de lítio*



* superiores a 100 mil toneladas recuperáveis
(Fonte: USGS, 2014). Elaboração própria.

Anexo 5

Principais rotas tecnológicas da energia de fusão

O aproveitamento prático da energia de fusão exigirá um conjunto de tecnologias capazes de, entre outros desafios, gerar, conter e manter plasmas de temperaturas superiores a cem milhões de graus centígrados, na densidade e pelo tempo mínimo necessário para um balanço energético positivo (conforme a equação formulada pelo físico britânico John Lawson), bem como lidar com os nêutrons rápidos irradiados pelas reações de fusão.

A questão primordial é a da contenção, ou confinamento, eficiente do hidrogênio superaquecido, problema magnificado pelo comportamento instável e imprevisível do plasma (o quarto estado da matéria) nessas elevadas temperaturas. Depois de quase sete décadas de pesquisa e desenvolvimento, duas rotas tecnológicas consolidaram-se como as mais promissoras: a do confinamento magnético, que é a empregada pelo ITER, e a do confinamento inercial, cujo exemplo mais avançado é o do projeto estadunidense da Instalação Nacional de Ignição (NIF).

5.1 - CONFINAMENTO MAGNÉTICO

Na rota do confinamento magnético, o plasma é contido e comprimido pelas forças geradas por eletroímãs de grande potência. Essa rota é pioneira, pois já em 1945 os britânicos George Thomson e Moses Blackman registraram a primeira patente para uma usina termonuclear de fusão, baseada em um conceito de reator de confinamento magnético no formato circular de um toroide (o mesmo da câmara de ar de um pneumático). Contudo, os dois britânicos jamais desenvolveram sua ideia.

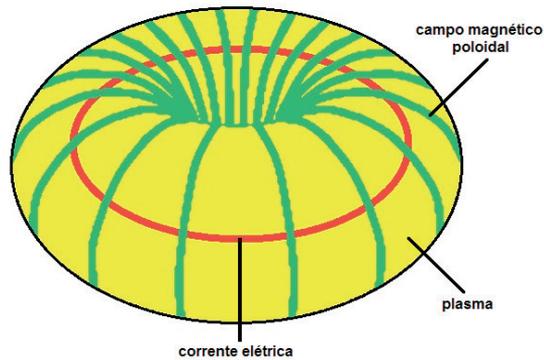
Além de o formato circular imaginado por Thomson e Blackman, outra possibilidade para um reator de fusão seria a de confinar o plasma em um sistema linear, com configuração cilíndrica. Como explicam McCracken e Stott, um sistema linear deveria ser mais fácil de construir e manter do que um toroidal, mas as inevitáveis perdas de energia nas extremidades tornam essa alternativa uma candidata altamente improvável para um reator de fusão com balanço energético positivo⁵⁸⁴. Assim, a configuração considerada como mais promissora dentro da rota magnética é, precisamente, a circular ou toroidal, conceito retomado pelos britânicos responsáveis pelas máquinas do tipo *pinch*, como o projeto ZETA, pelo estadunidense Lyman Spitzer com o *stellarator* e pelos soviéticos Andrei Sakharov e Igor Tamm com o *tokamak*.

5.1.1 - MÁQUINAS DE PINCH

Na configuração de *pinch*, o hidrogênio é confinado apenas por um campo magnético poloidal gerado pela corrente elétrica induzida dentro do plasma (por um solenoide externo). Esse campo comprime o plasma e o afasta das paredes do reator, em um efeito de pinça. A

584 McCracken, Garry; STOTT, Peter, *op. cit.*, p. 56.

simplicidade do conceito é desafiada pelas complexidades do plasma, com suas instabilidades e turbulências que exigem métodos mais avançados de controle. No presente, a única real perspectiva para um reator de *pinch* seria no formato de campo reverso (*reverse field pinch*), com o acréscimo de bobinas externas para gerar um campo magnético toroidal no sentido contrário ao do campo poloidal principal. O principal experimento desse gênero é desenvolvido na União Europeia pelo consórcio italiano RFX.



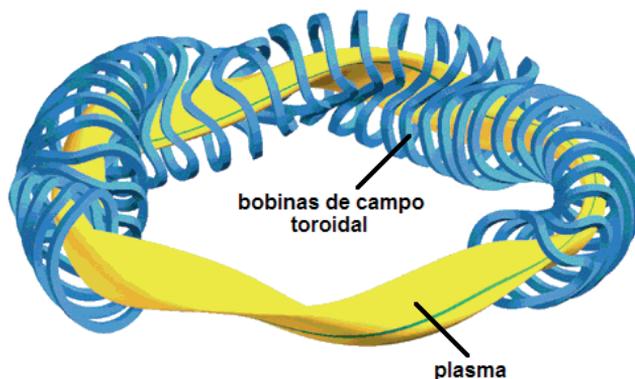
Nas máquinas simples de *pinch*, o plasma é confinado somente por campos magnéticos poloidais gerados por uma corrente elétrica no interior da câmara toroidal.

(Imagem elaborada pelo autor com base em McCracken e Stott)

5.1.2 - STELLARATOR

O *stellarator* confina o hidrogênio em um campo magnético toroidal produzido por bobinas externas, sem a necessidade de uma corrente elétrica induzida no plasma. As instabilidades são controladas por uma complexa geometria de bobinas com o objetivo de compor um campo magnético retorcido. A grande vantagem desse modelo é a possibilidade teórica de operação contínua, sem os pulsos que caracterizam reatores magnéticos com corrente elétrica dentro do plasma. Inventado nos EUA, o *stellarator* tem seu experimento

mais avançado na União Europeia, com o projeto alemão Wendelstein 7-X, ora em construção. Na avaliação dos europeus, o conhecimento acumulado com os *stellarators* poderá ser de grande utilidade para o futuro desenvolvimento de reatores comerciais de fusão.



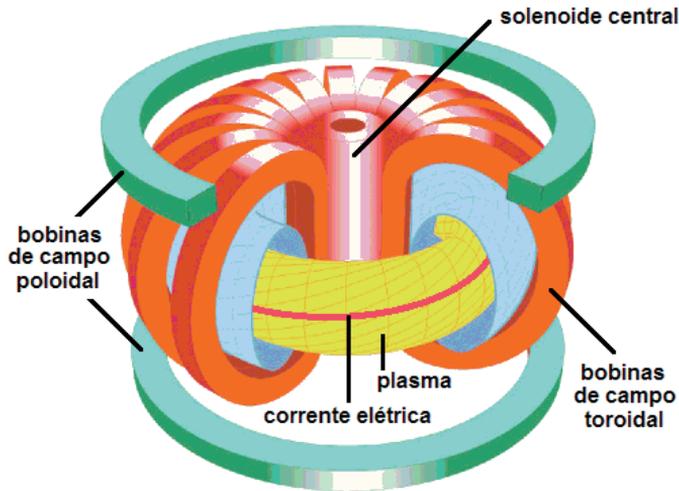
No *stellarator* alemão Wendelstein 7-X, o plasma é confinado e retorcido por campos magnéticos gerados pela complexa geometria de bobinas. Não há corrente elétrica dentro do plasma.

(imagem do Instituto Max-Planck para Física de Plasmas, Alemanha).

5.1.3 - TOKAMAK

Acrônimo de “câmara toroidal com bobinas magnéticas” em russo (*toroidalnaia kamera s magnitnymi katushkami*), o *tokamak* é a rota tecnológica do ITER. Combina propriedades dos dois conceitos apresentados acima (*pinch* e *stellarator*). O hidrogênio é confinado pela combinação de forças magnéticas geradas em dois campos: um poloidal (produzido pela corrente elétrica que circula no próprio plasma, induzida por um transformador, e por eletroímãs externos); e outro toroidal (produzido somente por poderosos eletroímãs externos). Com o *Joint European Torus*, o *tokamak* estabeleceu o recorde mundial de potência térmica de fusão, com 16 MWt. Com o ITER, o *tokamak* é

o conceito que deverá provar a viabilidade científica e tecnológica da energia de fusão.



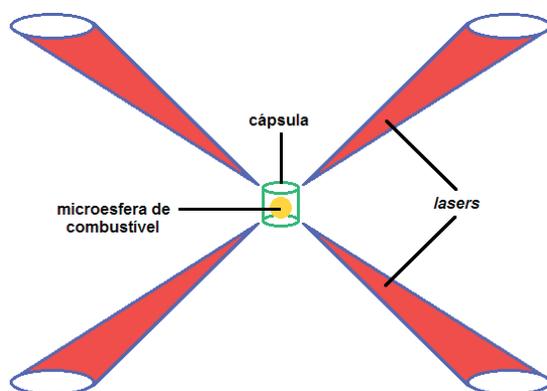
Em um *tokamak*, o plasma é confinado por campos magnéticos poloidais e toroidais gerados por um sistema de bobinas e por corrente elétrica (induzida no interior da câmara toroidal por um solenoide central).

(Imagem elaborada pelo autor com base no material da exposição “Ideen 2020”, do governo alemão)

5.2 - CONFINAMENTO INERCIAL

Na rota do confinamento inercial, o plasma de fusão entra em ignição e gera energia após ser comprimido e superaquecido em uma fração ínfima de tempo. A inércia do combustível impede a sua dispersão e esfriamento, daí o nome dessa tecnologia alternativa de energia de fusão. Trata-se, em linhas gerais, do mesmo princípio dos explosivos termonucleares, com a diferença de que a quantidade de hidrogênio é bem menor e, em lugar da bomba primária de fissão nuclear, potentes raios *laser* são utilizados para implodir pequenas cápsulas com minúsculas esferas de combustível.

A aplicação prática da rota do confinamento inercial apresenta dificuldades muito superiores às da rota do confinamento magnético. A obtenção de balanço energético positivo é improvável com as atuais tecnologias de *laser*, que consomem muita energia e exigem intervalos longos entre cada pulso. A hipotética geração de eletricidade em um reator inercial seguiria, contudo, a mesma lógica de um reator magnético, usando a energia contida nos nêutrons liberados pelas reações de fusão. Vários autores, como Seife, ponderam que a *rationalité* dos EUA ao investir nessa rota nada tem a ver com energia, mas sim com objetivos estritamente militares⁵⁸⁵.



No confinamento inercial desenvolvido no NIF, cápsulas com microesferas de hidrogênio são bombardeadas por potentes raios *laser*, gerando plasmas de fusão por alguns milionésimos de segundo.

(Imagem elaborada pelo autor com base em McCracken e Stott)

585 SEIFE, Charles, *op. cit.*, p. 214;

Anexo 6

Acordos

6.1 - Acordo Constitutivo da Organização Internacional de Energia de Fusão ITER

AGREEMENT on the Establishment of the ITER International Fusion Energy Organization for the Joint Implementation of the ITER Project

The European Atomic Energy Community (hereinafter 'EURATOM'), the Government of the People's Republic of China, the Government of the Republic of India, the Government of Japan, the Government of the Republic of Korea, the Government of the Russian Federation and the Government of the United States of America,

RECALLING that the successful completion of the ITER Engineering Design Activities under the auspices of the International Atomic Energy Agency (hereinafter 'the IAEA') has placed at the disposal of the Parties a detailed, complete and fully integrated engineering design of a research facility aimed to demonstrate the feasibility of fusion as an energy source;

EMPHASIZING the long term potential of fusion energy as a virtually limitless, environmentally acceptable and economically competitive source of energy;

CONVINCED that ITER is the next important step on the path to develop fusion energy and that now is the appropriate time to initiate the implementation of the ITER Project on the basis of progress of research and development in the field of fusion energy;

HAVING REGARD to the joint declaration by the Representatives of the Parties to the ITER negotiations, on the occasion of the ministerial meeting for ITER on 28 June 2005 in Moscow;

RECOGNIZING that the World Summit on Sustainable Development of 2002 called upon governments to promote increased research and development in the field of various energy technologies, including renewable energy, energy efficiency and advanced energy technologies;

EMPHASIZING the importance of the joint implementation of the ITER Project to demonstrate the scientific and technological feasibility of fusion energy for peaceful purposes and to stimulate the interest of young generations in fusion;

DETERMINED that the ITER Project's overall programmatic objective will be pursued by the ITER International Fusion Energy Organization through a common international research programme organized around scientific and technological goals, developed and executed with participation of leading researchers from all Parties;

EMPHASIZING the importance of safe and reliable implementation of construction, operation, exploitation, de-activation and decommissioning of the ITER facilities with a view to demonstrating safety and promoting social acceptability of fusion as an energy source;

AFFIRMING the importance of genuine partnership in implementing this long term and large scale project for the purpose of fusion energy research and development;

RECOGNIZING that while scientific and technological benefits will be shared equally among the Parties for fusion energy research purposes, other benefits associated with the implementation of the Project will be shared on an equitable basis;

DESIRING to continue the fruitful cooperation with the IAEA in this endeavour,

HAVE AGREED AS FOLLOWS:

Article 1

Establishment of the ITER International Fusion Energy Organization

1. The ITER International Fusion Energy Organization (hereinafter ‘the ITER Organization’) is hereby established.
2. The headquarters of the ITER Organization (hereinafter ‘the Headquarters’) shall be at St Paul-lez-Durance, Bouches-du-Rhône, France. For the purposes of this Agreement, EURATOM shall be referred to as ‘the Host Party’ and France as ‘the Host State’.

Article 2

Purpose of the ITER Organization

The purpose of the ITER Organization shall be to provide for and to promote cooperation among the Members referred to in Article 4 (hereinafter ‘the Members’) on the ITER Project, an international project that aims to demonstrate the scientific and technological

feasibility of fusion energy for peaceful purposes, an essential feature of which would be achieving sustained fusion power generation.

Article 3

Functions of the ITER Organization

1. The ITER Organization shall:

(a) construct, operate, exploit, and de-activate the ITER facilities in accordance with the technical objectives and the general design presented in the Final Report of the ITER Engineering Design Activities (ITER EDA Documentation Series No. 21) and such supplemental technical documents as may be adopted, as necessary, in accordance with this Agreement, and provide for the decommissioning of the ITER facilities;

(b) encourage the exploitation of the ITER facilities by the laboratories, other institutions and personnel participating in the fusion energy research and development programmes of the Members;

(c) promote public understanding and acceptance of fusion energy; and

(d) undertake, in accordance with this Agreement, any other activities that are necessary to achieve its purpose.

2. In the performance of its functions, the ITER Organization shall give special regard to the maintenance of good relations with local communities.

Article 4

Members of the ITER Organization

The Parties to this Agreement shall be the Members of the ITER Organization.

Article 5

Legal Personality

1. The ITER Organization shall have international legal personality, including the capacity to conclude agreements with States and/or international organizations.

2. The ITER Organization shall have legal personality and enjoy, in the territories of the Members, the legal capacity it requires, including to:

- (a) conclude contracts;
- (b) acquire, hold and dispose of property;
- (c) obtain licenses; and
- (d) institute legal proceedings.

Article 6

Council

1. The Council shall be the principal organ of the ITER Organization and shall be composed of Representatives of the Members. Each Member shall appoint up to four Representatives to the Council.

2. The Depositary referred to in Article 29 (hereinafter ‘the Depositary’) shall convene the first session of the Council no later than three months after the entry into force of this Agreement, provided that the notifications referred to in Article 12(5) have been received from all Parties.

3. The Council shall elect from among its Members a Chair and a Vice-Chair who shall each serve for a term of one year and who may be re-elected up to three times for a maximum period of four years.

4. The Council shall adopt its Rules of Procedure by unanimity.

5. The Council shall meet twice a year, unless it decides otherwise. The Council may decide to hold an extraordinary session at the request of a Member or of the Director-General. Sessions of the Council shall take place at the Headquarters, unless the Council decides otherwise.

6. When appropriate, the Council may decide to hold a session at the ministerial level.

7. The Council shall be responsible, in accordance with this Agreement, for the promotion, overall direction and supervision of the activities of the ITER Organization in pursuit of its purpose. The Council may take decisions and make recommendations on any questions, matters or issues in accordance with this Agreement. In particular, the Council shall:

(a) decide on the appointment, replacement and extension of the term of office of the Director-General;

(b) adopt and amend where necessary, on the proposal of the Director-General, the Staff Regulations and the Project Resource Management Regulations of the ITER Organization;

- (c) decide, on the proposal of the Director-General, the main management structure of the ITER Organization and complement of the Staff;
- (d) appoint senior Staff on the proposal of the Director-General;
- (e) appoint the Members of the Financial Audit Board as referred to in Article 17;
- (f) decide, in accordance with Article 18, on the terms of reference for the undertaking of an assessment of the management of the ITER Organization and appoint a Management Assessor for that purpose;
- (g) decide, on the proposal of the Director-General, the total budget for the various phases of the ITER Project and allowable ranges for adjustment for the purpose of the annual updates referred to in subparagraph (j), and approve the initial ITER Project Plan and Resource Estimates referred to in Article 9;
- (h) approve changes to the overall cost sharing;
- (i) approve, with the consent of the Members concerned, modifications to the procurement allocation without changing the overall cost sharing;
- (j) approve the annual updates of the ITER Project Plan and Resource Estimates and, correspondingly, approve the annual programme and adopt the annual budget of the ITER Organization;
- (k) approve the annual accounts of the ITER Organization;
- (l) adopt the annual reports;

(m) adopt, as necessary, the supplemental technical documents referred to in Article 3(1)(a);

(n) establish such subsidiary bodies of the Council as may be necessary;

(o) approve the conclusion of agreements or arrangements for international cooperation in accordance with Article 19;

(p) decide on acquisition, sale and mortgaging of land and other titles of real property;

(q) adopt the rules on Intellectual Property management and the dissemination of information in accordance with Article 10 on the proposal of the Director-General;

(r) approve, on the proposal of the Director-General, the details of setting up of Field Teams with consent of the Members concerned, in accordance with Article 13. The Council shall review, on a periodic basis, the continuation of any Field Teams established;

(s) approve, on the proposal of the Director-General, agreements or arrangements governing relations between the ITER Organization and the Members or States on whose territory the Headquarters and Field Teams of the ITER Organization are located;

(t) approve, on the proposal of the Director-General, efforts to promote collaboration among the relevant domestic fusion research programmes of the Members and between such programmes and the ITER Organization;

(u) decide on the accession of States or international organizations to this Agreement in accordance with Article 23;

(v) recommend to the Parties, in accordance with Article 28, amendments to this Agreement;

(w) decide on the taking or granting of loans, provision of assurances and guarantees and furnishing collateral and security in respect thereto;

(x) decide whether to propose material, equipment and technology for consideration by international export control for a inclusion on their control lists, and establish a policy supporting peaceful uses and non-proliferation in accordance with Article 20;

(y) approve compensation arrangements referred to in Article 15; and

(z) decide on waivers of immunity in accordance with Article 12(3) and have such other powers as may be necessary to fulfill the purpose and to carry out the functions of the ITER Organization, consistent with this Agreement.

8. The Council shall decide issues under subparagraphs (a), (b), (c), (g), (h), (o), (u), (v), (w), (x), (y) and (z) of paragraph 7, and on the weighted voting system referred to in paragraph 10, by unanimity.

9. On all issues other than as specified in paragraph 8, the Members shall use their best efforts to achieve consensus. Failing consensus, the Council shall decide the issue in accordance with the weighted voting system referred to in paragraph 10. Decisions on issues related to Article 14 shall require the concurrence of the Host Party.

10. The respective weights of the votes of the Members shall reflect their contributions to the ITER Organization. The weighted voting system, which shall include both the distribution of votes and the decision making rules, shall be set out in the Council Rules of Procedure.

Article 7

The Director-General and the Staff

1. The Director-General shall be the chief executive officer and the representative of the ITER Organization in the exercise of its legal capacity. The Director-General shall act in a manner consistent with this Agreement and decisions of the Council, and shall be responsible to the Council for the execution of his/her duties.

2. The Director-General shall be assisted by the Staff. The Staff shall consist of direct employees of the ITER Organization and personnel seconded by the Members.

3. The Director-General shall be appointed for a term of five years. The appointment of the Director-General may be extended once for an additional period of up to five years.

4. The Director-General shall take all measures necessary for the management of the ITER Organization, the execution of its activities, the implementation of its policies and the fulfillment of its purpose. In particular, the Director-General shall:

(a) prepare and submit to the Council:

— the total budget for the various phases of the ITER Project and allowable ranges for adjustment;

— the ITER Project Plan and Resource Estimates and their annual updates;

— the annual budget within the agreed total budget, including the annual contributions, and annual accounts;

- proposals on senior Staff appointments and main management structure of the ITER Organization;
 - the Staff Regulations;
 - the Project Resource Management Regulations; and
 - the annual reports;
- (b) appoint, direct and supervise the Staff;
- (c) be responsible for safety and undertake all organizational measures needed to observe the laws and regulations referred to in Article 14;
- (d) undertake, where necessary in conjunction with the Host State, to obtain the permits and licenses required for the construction, operation and exploitation of the ITER facilities;
- (e) promote collaboration among the relevant domestic fusion research programmes of the Members and between such programmes and the ITER Organization;
- (f) ensure the quality and fitness of components and systems procured for use by the ITER Organization;
- (g) submit to the Council, as necessary, the supplemental technical documents referred to in Article 3(1)(a);
- (h) conclude, subject to prior approval of the Council, agreements or arrangements for international cooperation in accordance with Article 19 and supervise their implementation;
- (i) make arrangements for the sessions of the Council;

(j) as requested by the Council, assist subsidiary bodies of the Council in the performance of their tasks; and

(k) monitor and control the execution of the annual programmes with respect to timing, results and quality, and accept the completion of the tasks.

5. The Director-General shall attend meetings of the Council unless the Council decides otherwise.

6. Without prejudice to Article 14, the responsibilities of the Director-General and the Staff in respect of the ITER Organization shall be exclusively international in character. In the discharge of their duties they shall not seek or receive instructions from any government or from any authority external to the ITER Organization. Each Member shall respect the international character of the responsibilities of the Director-General and the Staff, and shall not seek to influence them in the discharge of their duties.

7. The Staff shall support the Director-General in the performance of his/her duties and shall be under his/her management authority.

8. The Director-General shall appoint the Staff in accordance with the Staff Regulations.

9. The term of the appointment of each Member of the Staff shall be up to five years.

10. The Staff of the ITER Organization shall consist of such qualified scientific, technical and administrative personnel as shall be required for the implementation of the activities of the ITER Organization.

11. The Staff shall be appointed on the basis of their qualifications, taking into account an adequate distribution of posts among the Members in relation to their contributions.

12. In accordance with this Agreement and the relevant regulations, the Members may second personnel and send visiting researchers to the ITER Organization.

Article 8

Resources of the ITER Organization

1. The resources of the ITER Organization shall comprise:

(a) contributions in kind, as referred to in the document 'Value Estimates for ITER Phases of Construction, Operation, Deactivation and Decommissioning and Form of Party Contributions', comprising:
(i) specific components, equipment, materials and other goods and services in accordance with the agreed technical specifications and
(ii) staff seconded by the Members;

(b) financial contributions to the budget of the ITER Organization by the Members (hereinafter 'contributions in cash'), as referred to in the document 'Value Estimates for ITER Phases of Construction, Operation, Deactivation and Decommissioning and Form of Party Contributions';

(c) additional resources received either in cash or in kind within limits and under terms approved by the Council.

2. The respective Members' contributions over the duration of this Agreement shall be as referred to in the documents 'Value Estimates for ITER Phases of Construction, Operation, Deactivation and

Decommissioning and Form of Party Contributions’ and ‘Cost Sharing for all Phases of the ITER Project’ and may be updated by unanimous decision of the Council.

3. The resources of the ITER Organization shall be solely used to promote the purpose and to exercise the functions of the ITER Organization in accordance with Articles 2 and 3.

4. Each Member shall provide its contributions to the ITER Organization through an appropriate legal entity, hereinafter ‘the Domestic Agency’ of that Member, except where otherwise agreed by the Council. The approval of the Council shall not be required for Members to provide cash contributions directly to the ITER Organization.

Article 9

Project Resource Management Regulations

1. The purpose of the Project Resource Management Regulations is to ensure the sound financial management of the ITER Organization. These Regulations shall include, inter alia, the principal rules relating to:

(a) the Financial Year;

(b) the unit of account and the currency that the ITER Organization shall use for accounting, budget and resource evaluation purposes;

(c) the presentation and structure of the ITER Project Plan and Resource Estimates;

(d) the procedure for the preparation and adoption of the annual budget, the implementation of the annual budget and internal financial control;

(e) the contributions by the Members;

(f) the awarding of contracts;

(g) the management of contributions; and

(h) the management of the decommissioning fund.

2. The Director-General shall prepare each year, and submit to the Council, an update of the ITER Project Plan and Resource Estimates.

3. The ITER Project Plan shall specify the plan for the execution of all functions of the ITER Organization and shall cover the duration of this Agreement. It shall:

(a) outline an overall plan including time schedule and major milestones, for the fulfilment of the purpose of the ITER Organization and summarise the progress of the ITER Project in relation to the overall plan;

(b) present specific objectives and schedules of the programme of activities of the ITER Organization for the coming five years or for the period of construction, whichever will last longer; and

(c) provide appropriate commentaries, including assessment of the risks to the ITER Project and descriptions of risk avoidance or mitigation measures.

4. The ITER Resource Estimates shall provide a comprehensive analysis of the resources already expended and required in the future

to undertake the ITER Project Plan and of the plans for the provision of the resources.

Article 10

Information and Intellectual Property

1. Subject to this Agreement and the Annex on Information and Intellectual Property, the ITER Organization and the Members shall support the widest appropriate dissemination of information and intellectual property they generate in the execution of this Agreement. The implementation of this Article and the Annex on Information and Intellectual Property shall be equal and non-discriminatory for all Members and the ITER Organization.

2. In carrying out its activities, the ITER Organization shall ensure that any scientific results shall be published or otherwise made widely available after a reasonable period of time to allow for the obtaining of appropriate protection. Any copyright on works based on those results shall be owned by the ITER Organization unless otherwise provided in specific provisions of this Agreement and the Annex on Information and Intellectual Property.

3. When placing contracts for work to be performed pursuant to this Agreement, the ITER Organization and the Members shall include provisions in such contracts on any resulting intellectual property. These provisions shall address, inter alia, rights of access to, as well as disclosure and use of, such intellectual property, and shall be consistent with this Agreement and the Annex on Information and Intellectual Property.

4. Intellectual property generated or incorporated pursuant to this Agreement shall be treated in accordance with the provisions of the Annex on Information and Intellectual Property.

Article 11

Site Support

1. The Host Party shall make available or cause to be made available to the ITER Organization the site support required for the implementation of the ITER Project as summarized and under the terms outlined in the Annex on Site Support. The Host Party may designate an entity to act on its behalf for this purpose. Such designation shall not affect the obligations of the Host Party under this Article.

2. Subject to the approval of the Council, the details of and the procedures for cooperation on site support between the ITER Organization and the Host Party or its designated entity shall be covered by a Site Support Agreement to be concluded between them.

Article 12

Privileges and Immunities

1. The ITER Organization, its property and assets, shall enjoy in the territory of each Member such privileges and immunities as are necessary for the exercise of its functions.

2. The Director-General and the Staff of the ITER Organization and the representatives of the Members in the Council and subsidiary bodies, together with their alternates and experts, shall enjoy in the territory of each of the Members such privileges and immunities as

are necessary for the exercise of their functions in connection with the ITER Organization.

3. The immunities provided for in paragraphs 1 and 2 shall be waived in any case where the authority competent to waive the immunity considers that such immunity would impede the course of justice and that waiver would not prejudice the purposes for which it was accorded and where, in the case of the ITER Organization, the Director-General, and the Staff, the Council determines that such a waiver would not be contrary to the interests of the ITER Organization and its Members.

4. The privileges and immunities conferred in accordance with this Agreement shall not diminish or affect the duty of the ITER Organization, the Director-General or the Staff to comply with the laws and regulations referred to in Article 14.

5. Each Party shall notify the Depositary in writing upon having given effect to paragraphs 1 and 2.

6. The Depositary shall notify the Parties when notifications have been received from all Parties in accordance with paragraph 5.

7. A Headquarters Agreement shall be concluded between the ITER Organization and the Host State.

Article 13

Field Teams

Each Member shall host a Field Team established and operated by the ITER Organization as required for the exercise of the ITER Organization's functions and the fulfillment of its purpose. A Field

Team Agreement shall be concluded between the ITER Organization and each Member.

Article 14

Public Health, Safety, Licensing and Environmental Protection

The ITER Organization shall observe applicable national laws and regulations of the Host State in the fields of public and occupational health and safety, nuclear safety, radiation protection, licensing, nuclear substances, environmental protection and protection from acts of malevolence.

Article 15

Liability

1. The contractual liability of the ITER Organization shall be governed by the relevant contractual provisions, which shall be construed in accordance with the law applicable to the contract.
2. In the case of non-contractual liability, the ITER Organization shall compensate appropriately or provide other remedies for any damage caused by it, to such extent as the ITER Organization is subject to a legal liability under the relevant law, with the details of compensation arrangements to be approved by the Council. This paragraph shall not be construed as a waiver of immunity by the ITER Organization.
3. Any payment by the ITER Organization to compensate for the liability referred to in paragraphs 1 and 2 and any costs and expenses incurred in connection therewith shall be considered as 'operational cost' as defined in the Project Resource Management Regulations.

4. In case the costs of compensation for damage referred to in paragraph 2 exceed funds available to the ITER Organization in the annual budget for operations and/or through insurance, the Members shall consult, through the Council, so that the ITER Organization can compensate, according to paragraph 2 by seeking to increase the overall budget by unanimous decision of the Council in accordance with Article 6(8).

5. Membership in the ITER Organization shall not result in liability for Members for acts, omissions, or obligations of the ITER Organization.

6. Nothing in this Agreement shall impair, or shall be construed as a waiver of, immunity that Members enjoy in the territory of other States or in their territory.

Article 16

Decommissioning

1. During the period of operation of ITER, the ITER Organization shall generate a Fund (hereinafter ‘the Fund’) to provide for the decommissioning of the ITER facilities. The modalities for the generation of the Fund, its estimation and updating, the conditions for changes and for its transfer to the Host State shall be set out in the Project Resource Management Regulations referred to in Article 9.

2. Following the final phase of experimental operations of ITER, the ITER Organization shall, within a period of five years, or shorter if agreed with the Host State, bring the ITER facilities into such conditions as are to be agreed and updated as necessary between the ITER Organization and the Host State, following which the ITER Organization shall hand over to the Host State the Fund and the ITER facilities for their decommissioning.

3. Following the acceptance by the Host State of the Fund together with the ITER facilities, the ITER Organization shall bear no responsibilities or liabilities for the ITER facilities, except when otherwise agreed between the ITER Organization and the Host State.

4. The respective rights and obligations of the ITER Organization and the Host State and the modalities of their interactions in respect of the decommissioning shall be set out in the Headquarters Agreement referred to in Article 12, under which the ITER Organization and the Host State shall, inter alia, agree that:

(a) after the handing over of the ITER facilities, the Host State shall continue to be bound by the provisions of Article 20; and

(b) the Host State shall make regular reports to all Members that have contributed to the Fund on the progress of the decommissioning and on the procedures and technologies that have been used or generated for the decommissioning.

Article 17

Financial Audit

1. A Financial Audit Board (hereinafter 'the Board') shall be established to undertake the audit of the annual accounts of the ITER Organization in accordance with this Article and the Project Resource Management Regulations.

2. Each Member shall be represented on the Board by one Member. The Members of the Board shall be appointed by the Council on the recommendation of the respective Members for a period of three years. The appointment may be extended once for an additional period

of three years. The Council shall appoint from among the members the Chair of the Board, who shall serve for a period of two years.

3. The members of the Board shall be independent and shall not seek or take instructions from any Member or any other person and shall report only to the Council.

4. The purposes of the audit shall be to:

(a) determine whether all income/expenditure has been received/incurred in a lawful and regular manner and has been accounted for;

(b) determine whether the financial management has been sound;

(c) provide a statement of assurance as to the reliability of the annual accounts and the legality and regularity of the underlying transactions;

(d) determine whether expenditures are in conformity with the budget; and

(e) examine any matter having potential financial implications for the ITER Organization.

5. The audit shall be based on recognized international principles and standards for accounting.

Article 18

Management Assessment

1. Every two years, the Council shall appoint a Management Assessor who shall assess the management of the activities of the ITER Organization. The scope of the assessment shall be decided by the Council.

2. The Director-General may also call for such assessments following consultation with the Council.
3. The Management Assessor shall be independent and shall not seek or take instructions from any Member or any person and shall report only to the Council.
4. The purpose of the assessment shall be to determine whether the management of the ITER Organization has been sound, in particular with respect to management effectiveness and efficiency in terms of scale of staff.
5. The assessment shall be based on records of the ITER Organization. The Management Assessor shall be granted full access to personnel, books and records as he/she may deem appropriate for this purpose.
6. The ITER Organization shall ensure that the Management Assessor shall abide by its requirements relating to the treatment of sensitive and/or business confidential information, in particular its policies concerning Intellectual Property, Peaceful Uses and Non-Proliferation.

Article 19

International Cooperation

Consistent with this Agreement and upon a unanimous decision of the Council, the ITER Organization may, in furtherance of its purpose, cooperate with other international organizations and institutions, non-Parties, and with organizations and institutions of non-Parties, and conclude agreements or arrangements with them to this effect. The detailed arrangements for such cooperation shall be determined in each case by the Council.

Article 20

Peaceful Uses and Non-Proliferation

1. The ITER Organization and the Members shall use any material, equipment or technology generated or received pursuant to this Agreement solely for peaceful purposes. Nothing in this paragraph shall be interpreted as affecting the rights of the Members to use material, equipment or technology acquired or developed by them independent of this Agreement for their own purposes.

2. Material, equipment or technology received or generated pursuant to this Agreement by the ITER Organization and the Members shall not be transferred to any third party to be used to manufacture or otherwise to acquire nuclear weapons or other nuclear explosive devices or for any non-peaceful purposes.

3. The ITER Organization and the Members shall take appropriate measures to implement this Article in an efficient and transparent manner. To this end, the Council shall interface with appropriate international fora and establish a policy supporting peaceful uses and non-proliferation.

4. In order to support the success of the ITER Project and its non-proliferation policy, the Parties agree to consult on any issues associated with the implementation of this Article.

5. Nothing in this Agreement shall require the Members to transfer material, equipment or technology contrary to national export control or related laws and regulations.

6. Nothing in this Agreement shall affect the rights and obligations of the Parties that arise from other international agreements concerning

non-proliferation of nuclear weapons or other nuclear explosive devices.

Article 21

Application with regard to EURATOM

In accordance with the Treaty establishing EURATOM, this Agreement shall apply to the territories covered by that Treaty. In accordance with that Treaty and other relevant agreements, it shall also apply to the Republic of Bulgaria, Romania and the Swiss Confederation, participating in the EURATOM fusion programme as fully associated third States.

Article 22

Entry into Force

1. This Agreement is subject to ratification, acceptance or approval in accordance with the procedures of each Signatory.
2. This Agreement shall enter into force 30 days after the deposit of instruments of ratification, acceptance or approval of this Agreement by the People's Republic of China, EURATOM, the Republic of India, Japan, the Republic of Korea, the Russian Federation and the United States of America.
3. If this Agreement has not entered into force within one year after signature, a meeting of the Signatories shall be convened by the Depositary to decide what course of action shall be undertaken to facilitate its entering into force.

Article 23

Accession

1. After the entry into force of this Agreement, any State or international organization may accede to and become a Party to this Agreement following a unanimous decision of the Council.
2. Any State or international organization that wishes to accede to this Agreement shall notify the Director-General, who shall inform the Members of this request at least six months before it is submitted to the Council for decision.
3. The Council shall determine the conditions of accession of any State or international organization.
4. Accession to this Agreement by a State or international organization shall take effect 30 days after the Depositary has received both the instrument of accession and the notification referred to in Article 12(5).

Article 24

Duration and Termination

1. This Agreement shall have an initial duration of 35 years. The last five years of this period, or shorter if agreed with the Host State, shall be dedicated to the de-activation of the ITER facilities.
2. The Council shall, at least eight years before the expiry of this Agreement, establish a Special Committee, chaired by the Director-General, that shall advise it on whether the duration of this Agreement should be extended having regard to the progress of the ITER Project.

The Special Committee shall assess the technical and scientific state of the ITER facilities and reasons for the possible extension of this Agreement and, before recommending to extend this Agreement, the financial aspects in terms of required budget and impact on the de-activation and decommissioning costs. The Special Committee shall submit its report to the Council within one year after its establishment.

3. On the basis of the report, the Council shall decide by unanimity at least six years before the expiry whether to extend the duration of this Agreement.

4. The Council may not extend the duration of this Agreement for a period of more than 10 years in total, nor may the Council extend this Agreement if such extension would alter the nature of the activities of the ITER Organization or the framework of financial contribution of the Members.

5. At least six years before the expiry of this Agreement, the Council shall confirm the foreseen end of this Agreement and decide the arrangements for the de-activation phase and the dissolution of the ITER Organization.

6. This Agreement may be terminated by agreement of all Parties, allowing the necessary time for de-activation and ensuring the necessary funds for decommissioning.

Article 25

Settlement of Disputes

1. Any issue arising among the Parties or between one or more Parties and the ITER Organization out of or in connection with this Agreement shall be settled by consultation, mediation or other procedures to be

agreed, such as arbitration. The parties concerned shall meet to discuss the nature of any such issue with a view to an early resolution.

2. If the parties concerned are unable to resolve their dispute in consultation, either party may request the Chair of the Council (or if the Chair has been elected from a Member that is a party to the dispute, a Member of the Council representing a Member that is not a party to the dispute) to act as a mediator at a meeting to attempt to resolve the dispute. Such meeting shall be convened within 30 days following a request by a party for mediation and concluded within 60 days thereafter, immediately following which the mediator shall provide a report of the mediation, which report shall be prepared in consultation with the Members other than the parties to the dispute with a recommendation for resolution of the dispute.

3. If the parties concerned are unable to resolve their dispute through consultations or mediation, they may agree to submit the dispute to an agreed form of dispute resolution in accordance with procedures to be agreed.

Article 26

Withdrawal

1. After this Agreement has been in force for ten years, any Party other than the Host Party may notify the Depositary of its intention to withdraw.

2. Withdrawal shall not affect the withdrawing Party's contribution to the construction cost of the ITER facilities. If a Party withdraws during the period of operation of ITER, it shall also contribute its agreed share of the cost of decommissioning the ITER facilities.

3. Withdrawal shall not affect any continuing right, obligation, or legal situation of a Party created through the execution of this Agreement prior to its withdrawal.

4. The withdrawal shall take effect at the end of the Financial Year following the year the notification referred to in paragraph 1 is given.

5. The details of withdrawal shall be documented by the ITER Organization in consultation with the withdrawing Party.

Article 27

Annexes

The Annex on Information and Intellectual Property and the Annex on Site Support shall form an integral part of this Agreement.

Article 28

Amendments

1. Any Party may propose an amendment to this Agreement.

2. Proposed amendments shall be considered by the Council, for recommendation to the Parties by unanimity.

3. Amendments are subject to ratification, acceptance or approval in accordance with the procedures of each Party and shall enter into force 30 days after the deposit of the instruments of ratification, acceptance or approval by all Parties.

Article 29

Depositary

1. The Director-General of the IAEA shall be the Depositary of this Agreement.

2. The original of this Agreement shall be deposited with the Depositary, who shall send certified copies thereof to the Signatories, and to the Secretary-General of the United Nations for registration and publication pursuant to Article 102 of the Charter of the United Nations.

3. The Depositary shall notify all Signatory and acceding States and international organizations of:

(a) the date of deposit of each instrument of ratification, acceptance, approval or accession;

(b) the date of deposit of each notification received in accordance with Article 12(5);

(c) the date of entry into force of this Agreement and of amendments as provided for under Article 28;

(d) any notification by a Party of its intention to withdraw from this Agreement; and

(e) the termination of this Agreement.

IN WITNESS WHEREOF, the undersigned, being duly authorized thereto, have signed this Agreement.

Done at Paris on 21 November 2006, in a single original, in the English language.

6.2 – Acordo Brasil-EURATOM de 2009

Acordo de Cooperação entre o Governo da República Federativa do Brasil e a Comunidade Europeia de Energia Atômica (EURATOM) na Área de Pesquisa sobre Energia de Fusão

O Governo da República Federativa do Brasil e

A Comunidade Europeia de Energia Atômica (EURATOM)

(doravante denominados “Partes”),

CONSIDERANDO que, no Acordo de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Governo da República Federativa do Brasil e a Comunidade Europeia, assinado em 19 de janeiro de 2004, as Partes se comprometem a promover a cooperação na área das atividades de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico;

DESEJANDO continuar a incentivar o desenvolvimento da energia de fusão como fonte de energia potencialmente aceitável do ponto de vista ambiental, economicamente competitiva e virtualmente ilimitada,

Acordaram o seguinte:

Artigo 1

Objetivo

O objetivo do presente Acordo é intensificar a cooperação entre as Partes nos domínios abrangidos pelos respectivos programas de fusão, com base no princípio do benefício mútuo e da reciprocidade em geral, a fim de desenvolver os conhecimentos científicos e a capacidade tecnológica subjacentes a um sistema de energia de fusão.

Artigo 2

Áreas de Cooperação

As áreas de cooperação no âmbito do presente Acordo podem incluir:

- a) *tokamaks*, incluindo os grandes projetos desta geração e as atividades relacionadas aos da próxima geração;
- b) alternativas aos *tokamaks*;
- c) tecnologia de energia de fusão magnética;
- d) teoria do plasma e física de plasma aplicada;
- e) políticas e planos de programas; e
- f) outras áreas estabelecidas de comum acordo entre as Partes, por escrito, na medida em que sejam abrangidas pelos respectivos programas.

Artigo 3

Formas de Cooperação

1. A cooperação no âmbito do presente Acordo poderá incluir as seguintes formas, sem contudo estar a elas limitada:

- a) intercâmbio e fornecimento de informações e dados sobre atividades científicas e tecnológicas, eventos, práticas e resultados, e sobre políticas e planos de programas, incluindo a troca de informações reservadas, de acordo com as disposições e as condições previstas nos Artigos 6 e 7;

b) intercâmbio de cientistas, engenheiros e outros especialistas, por períodos a definir, para participação em experiências, análises, concepção e outras atividades de pesquisa e desenvolvimento, nos termos do Artigo 8;

c) organização de seminários e outras reuniões para discussão e troca de informações sobre temas acordados nas áreas enumeradas no Artigo 2 e para a identificação de ações de cooperação que possam ser realizadas de modo útil em conformidade com o Artigo 5;

d) intercâmbio e fornecimento de amostras, materiais, equipamento (instrumentos e componentes) para experiências, testes e avaliações, em conformidade com os Artigos 9 e 10;

e) execução de estudos, projetos ou experiências conjuntas, incluindo a sua concepção, construção e realização conjunta;

f) estabelecimento de ligações de dados, tais como, entre outras, ferramentas de análise remota de dados; e

g) outras formas específicas de cooperação que sejam acordadas mutuamente por escrito entre as Partes.

2. As Partes coordenarão, quando adequado, as atividades no âmbito do presente Acordo com outras atividades internacionais de pesquisa e desenvolvimento da energia de fusão, de modo a minimizar a duplicação de esforços. Nenhuma disposição do presente Acordo poderá ser interpretada de forma a prejudicar acordos de cooperação vigentes ou futuros entre as Partes.

Artigo 4

Comitê de Coordenação e Secretarias Executivas

1. As Partes instituirão um Comitê de Coordenação encarregado de coordenar e supervisionar a realização das atividades no âmbito do presente Acordo. Cada Parte designará número igual de membros para o Comitê de Coordenação e nomeará como Chefe de sua Delegação um de seus membros designados. O Comitê de Coordenação reunir-se-á anualmente, na República Federativa do Brasil e na União Europeia, alternadamente, ou em outros lugares e datas a definir. O Chefe de Delegação da Parte anfitriã presidirá a reunião.

2. O Comitê de Coordenação analisará o progresso e os planos de atividades no âmbito do presente Acordo, bem como proporá, coordenará e aprovará futuras atividades de cooperação no âmbito do presente Acordo, tendo em conta seu mérito técnico e o nível de esforço necessário para assegurar os princípios, inerentes ao Acordo, de benefício mútuo e de reciprocidade geral.

3. Todas as decisões do Comitê de Coordenação serão tomadas por consenso.

4. Cada Parte nomeará um Secretário Executivo encarregado de tratar em seu nome, nos intervalos entre as reuniões do Comitê de Coordenação, todas as questões relativas à cooperação no âmbito do presente Acordo. Os Secretários Executivos serão responsáveis pela gestão de rotina da cooperação.

Artigo 5

Implementação

1. Cada Parte designará as entidades adequadas para a implementação das atividades no âmbito do presente Acordo.
2. Ao aprovar uma atividade de cooperação, o Comitê de Coordenação aprovará igualmente, se necessário, um Anteprojeto ao amparo do presente Acordo.
3. Cada Anteprojeto indicará as entidades designadas para implementar o projeto e incluirá as disposições pormenorizadas para a implementação da atividade de cooperação, incluindo, conforme adequado, escopo técnico, gestão, responsabilidade aplicável em matéria de descontaminação, intercâmbio de informações reservadas, intercâmbio de equipamento, regime de propriedade intelectual, custos totais, repartição de custos e cronograma.

Artigo 6

Disponibilidade e Divulgação das Informações

1. Sem prejuízo das disposições legislativas e regulamentares aplicáveis e do disposto no presente Acordo, cada Parte e seus representantes comprometem-se a colocar livremente à disposição da outra Parte e dos seus representantes todas as informações de que disponham e que sejam necessárias para a execução das atividades de cooperação ao amparo do presente Acordo.
2. As Partes e seus representantes apoiarão a mais ampla divulgação possível das informações que tenham o direito de revelar, sejam desenvolvidas conjuntamente, sejam destinadas a ser fornecidas

ou intercambiadas no âmbito do presente Acordo, sem prejuízo da necessidade de proteger as informações reservadas e a propriedade intelectual criada ou fornecida no âmbito do presente Acordo.

3. As informações transmitidas entre as Partes no âmbito do presente Acordo deverão ser exatas, de acordo com o melhor conhecimento e convicção da Parte transmissora, mas essa não terá de garantir a adequação das informações transmitidas para qualquer utilização ou aplicação específica pela Parte receptora ou por terceiros. As informações desenvolvidas conjuntamente pelas Partes deverão ser exatas, de acordo com o melhor conhecimento e convicção de ambas as Partes. Nenhuma das Partes garantirá sua adequação para qualquer utilização ou aplicação específica pela outra Parte ou por terceiros.

Artigo 7

Propriedade Intelectual

A proteção e a atribuição de propriedade intelectual criada ou fornecida no decurso de atividades de cooperação no âmbito do presente Acordo serão regidas pelo disposto no Anexo, que faz parte integrante do presente Acordo e que se aplicará a todas as atividades realizadas no seu âmbito.

Artigo 8

Intercâmbio de Pessoal

Aplicam-se as seguintes disposições ao intercâmbio de pessoal entre as Partes ou seus representantes no âmbito do presente Acordo:

a) cada Parte assegurará a seleção de pessoal qualificado, dotado das habilidades e da competência necessárias à execução das atividades

previstas no âmbito do presente Acordo. O intercâmbio de pessoal será acordado previamente por meio de troca de correspondência entre as Partes, fazendo referência ao presente Acordo e às suas disposições pertinentes em matéria de propriedade intelectual, bem como à atividade de cooperação em questão;

b) cada Parte será responsável por salários, seguros e verbas a pagar a seu pessoal em intercâmbio;

c) a Parte cedente arcará com despesas de viagens e de diárias de seu pessoal enquanto este estiver na Parte anfitriã, salvo acordo em contrário;

d) a Parte anfitriã providenciará alojamento adequado para pessoal em intercâmbio da outra Parte (e seus dependentes), na base do acordo mútuo e da reciprocidade;

e) a Parte anfitriã providenciará, consoante sua legislação e regulamentos, toda a assistência necessária a pessoal da outra Parte no que diz respeito às formalidades administrativas (por exemplo, obtenção de vistos);

f) cada Parte assegurará que o pessoal em intercâmbio observe as regras gerais de trabalho e os regulamentos de segurança em vigor no estabelecimento anfitrião;

g) cada Parte poderá, a suas expensas, observar atividades específicas de testes e de trabalhos de análise da outra Parte, nas áreas de cooperação definidas no Artigo 2. Essa observação poderá assumir a forma de visitas de pessoal, sujeitas, caso a caso, a acordo prévio da Parte anfitriã.

Artigo 9

Intercâmbio de Equipamento, Amostras, Materiais e Peças Sobressalentes

Na eventualidade de intercâmbio, empréstimo ou fornecimento de equipamento, instrumentos, amostras, materiais ou peças sobressalentes necessárias, entre outros (a seguir denominados “equipamento”), por uma Parte ou por seus representantes à outra Parte ou a seus representantes, aplicar-se-ão as seguintes disposições em matéria de expedição e utilização do equipamento:

- a) a Parte cedente fornecerá o mais prontamente possível uma lista pormenorizada do equipamento a ser fornecido, com as especificações a ele referentes e a respectiva documentação técnica e informativa;
- b) o equipamento fornecido pela Parte cedente continuará a ser sua propriedade e será a ela devolvido na data estabelecida pelo Comitê de Coordenação, salvo disposição em contrário no Anteprojeto a que se refere o Artigo 5;
- c) o equipamento só entrará em funcionamento no estabelecimento anfitrião por acordo mútuo entre as Partes; e
- d) a Parte anfitriã providenciará as instalações necessárias ao equipamento e fornecerá energia elétrica, água, gás e outros recursos necessários, de acordo com requisitos técnicos a serem mutuamente acordados entre as Partes.

Artigo 10

Disposições Gerais

1. Cada Parte realizará as atividades previstas no presente Acordo em conformidade com suas leis e seus regulamentos vigentes e fornecerá recursos de acordo com a disponibilidade de fundos apropriados.
2. Salvo acordo específico em contrário, estabelecido por escrito entre as Partes, todos os custos resultantes da cooperação no âmbito do presente Acordo serão arcados pela Parte que neles incorrer.
3. Todas as questões relativas à interpretação ou à implementação do presente Acordo, surgidas durante seu período de vigência, serão resolvidas de comum acordo entre as Partes.
4. O presente Acordo será aplicável, no que respeita à EURATOM, aos territórios em que é aplicável o Tratado que institui a EURATOM e aos territórios dos países participantes no programa de fusão da EURATOM, na qualidade de terceiros Estados plenamente associados.

Artigo 11

Duração, Emendas e Denúncia

1. O presente Acordo entrará em vigor na data da última notificação, por escrito, em que uma Parte informa a outra do cumprimento dos respectivos trâmites internos necessários para sua entrada em vigor, e terá vigência de cinco (5) anos, sendo automaticamente prorrogável por períodos adicionais de cinco (5) anos, a não ser que uma das Partes notifique, por escrito, a outra Parte de sua intenção de denunciar o Acordo.

2. O presente Acordo poderá ser emendado por acordo escrito entre as Partes. As emendas entrarão em vigor na data da última notificação escrita em que uma Parte informa a outra do cumprimento dos respectivos procedimentos internos necessários para a entrada em vigor de qualquer emenda.

3. Todos os esforços e experimentos conjuntos que não tiverem sido concluídos quando da denúncia do presente Acordo poderão ser desenvolvidos até sua conclusão, nos termos do presente Acordo.

4. Qualquer Parte poderá denunciar o presente Acordo ou encerrar um Anteprojeto a qualquer momento, mediante notificação, por escrito à outra Parte. A denúncia surtirá efeito seis (6) meses após a data de recebimento da notificação, sem prejuízo dos direitos eventualmente adquiridos, ao amparo do presente Acordo ou de Anteprojeto, até a data da denúncia.

Feito em Brasília, em 27 de novembro de 2009, em dois exemplares originais, nos idiomas português, alemão, búlgaro, dinamarquês, eslovaco, esloveno, espanhol, estoniano, finlandês, francês, grego, holandês, húngaro, inglês, italiano, letão, lituano, maltês, polonês, romeno, sueco e tcheco, cada texto sendo igualmente autêntico.

PELO GOVERNO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Marcos Nogueira Martins

Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear

PELA COMUNIDADE EUROPEIA DE ENERGIA ATÔMICA

João José Soares Pacheco

Embaixador, Chefe da Delegação da Comissão Europeia no Brasil

Lista das Teses de CAE publicadas pela FUNAG

1. **Luiz Augusto Saint-Brisson de Araújo Castro**
O Brasil e o novo Direito do Mar: mar territorial e a zona econômica exclusiva (1989)
2. **Luiz Henrique Pereira da Fonseca**
Organização Marítima Internacional (IMO). Visão política de um organismo especializado das Nações (1989)
3. **Valdemar Carneiro Leão Neto**
A crise da imigração japonesa no Brasil (1930-1943). Contornos diplomáticos (1990)
4. **Synesio Sampaio Goes Filho**
Navegantes, bandeirantes, diplomatas: aspectos da descoberta do continente, da penetração do território brasileiro extra-tordesilhas e do estabelecimento das fronteiras da Amazônia (1991)
5. **José Antonio de Castello Branco de Macedo Soares**
História e informação diplomática: tópicos de historiografia, filosofia da história e metodologia de interesse para a informação diplomática (1992)
6. **Pedro Motta Pinto Coelho**
Fronteiras na Amazônia: um espaço integrado (1992)

7. **Adhemar Gabriel Bahadian**
A tentativa do controle do poder econômico nas Nações Unidas – estudo do conjunto de regras e princípios para o controle das práticas comerciais restritivas (1992)
8. **Regis Percy Arslanian**
O recurso à Seção 301 da legislação de comércio norte-americana e a aplicação de seus dispositivos contra o Brasil (1993)
9. **João Almino de Souza Filho**
Naturezas mortas. A filosofia política do ecologismo (1993)
10. **Clodoaldo Hugueneu Filho**
A Conferência de Lancaster House: da Rodésia ao Zimbábue (1993)
11. **Maria Stela Pompeu Brasil Frota**
Proteção de patentes de produtos farmacêuticos: o caso brasileiro (1993)
12. **Renato Xavier**
O gerenciamento costeiro no Brasil e a cooperação internacional (1994)
13. **Georges Lamazière**
Ordem, hegemonia e transgressão: a resolução 687 (1991) do Conselho de Segurança das Nações Unidas, a Comissão Especial das Nações Unidas (UNSCOM) e o regime internacional de não proliferação de armas de destruição em massa (1998)
14. **Antonio de Aguiar Patriota**
O Conselho de Segurança após a Guerra do Golfo: a articulação de um novo paradigma de segurança coletiva (1998)
15. **Leonilda Beatriz Campos Gonçalves Alves Corrêa**
Comércio e meio ambiente: atuação diplomática brasileira em relação ao Selo Verde (1998)

16. **Afonso José Sena Cardoso**
O Brasil nas operações de paz das Nações Unidas (1998)
17. **Irene Pessôa de Lima Câmara**
Em nome da democracia: a OEA e a crise haitiana 1991-1994 (1998)
18. **Ricardo Neiva Tavares**
As Organizações Não-Governamentais nas Nações Unidas (1999)
19. **Miguel Darcy de Oliveira**
Cidadania e globalização – a política externa brasileira e as ONGs (1999)
20. **Fernando Simas Magalhães**
Cúpula das Américas de 1994: papel negociador do Brasil, em busca de uma agenda hemisférica (1999)
21. **Ernesto Otto Rubarth**
A diplomacia brasileira e os temas sociais: o caso da saúde (1999)
22. **Enio Cordeiro**
Política indigenista brasileira e programa internacional dos direitos das populações indígenas (1999)
23. **Fernando Paulo de Mello Barreto Filho**
O tratamento nacional de investimentos estrangeiros (1999)
24. **Denis Fontes de Souza Pinto**
OCDE: uma visão brasileira (2000)
25. **Francisco Mauro Brasil de Holanda**
O gás no Mercosul: uma perspectiva brasileira (2001)
26. **João Solano Carneiro da Cunha**
A questão de Timor-Leste: origens e evolução (2001)
27. **João Mendonça Lima Neto**
Promoção do Brasil como destino turístico (2002)

28. **Sérgio Eduardo Moreira Lima**
Privilégios e imunidades diplomáticos (2002)
29. **Appio Cláudio Muniz Acquarone**
Tratados de extradição: construção, atualidade e projeção do relacionamento bilateral brasileiro (2003)
30. **Susan Kleebank**
Cooperação judiciária por via diplomática: avaliação e propostas de atualização do quadro normativo (2004)
31. **Paulo Roberto Campos Tarrisse da Fontoura**
O Brasil e as operações de manutenção da paz das Nações Unidas (2005)
32. **Paulo Estivallet de Mesquita**
Multifuncionalidade e preocupações não-comerciais: implicações para as negociações agrícolas na OMC (2005)
33. **Alfredo José Cavalcanti Jordão de Camargo**
Bolívia: a criação de um novo país (2006)
34. **Maria Clara Duclos Carisio**
A política agrícola comum e seus efeitos para o Brasil (2006)
35. **Eliana Zugaib**
A Hidrovia Paraguai-Paraná (2006)
36. **André Aranha Corrêa do Lago**
Estocolmo, Rio, Joanesburgo: o Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas (2007)
37. **João Pedro Corrêa Costa**
De decasségui a emigrante (2007)
38. **George Torquato Firmeza**
Brasileiros no exterior (2007)

39. **Alexandre Guido Lopes Parola**
A ordem injusta (2007)
40. **Maria Nazareth Farani de Azevedo**
A OMC e a reforma agrícola (2007)
41. **Ernesto Henrique Fraga Araújo**
O Mercosul: negociações extra-regionais (2008)
42. **João André Lima**
A Harmonização do Direito Privado (2008)
43. **João Alfredo dos Anjos Júnior**
José Bonifácio, primeiro Chanceler do Brasil (2008)
44. **Douglas Wanderley de Vasconcellos**
Esporte, poder e Relações Internacionais (2008)
45. **Silvio José Albuquerque e Silva**
Combate ao racismo (2008)
46. **Ruy Pacheco de Azevedo Amaral**
O Brasil na França (2008)
47. **Márcia Maro da Silva**
Independência de Angola (2008)
48. **João Genésio de Almeida Filho**
O Fórum de Diálogo Índia, Brasil e África do Sul (IBAS): análise e perspectivas (2009)
49. **Gonçalo de Barros Carvalho e Mello Mourão**
A Revolução de 1817 e a história do Brasil - um estudo de história diplomática (2009)
50. **Paulo Fernando Dias Feres**
Os biocombustíveis na matriz energética alemã: possibilidades de cooperação com o Brasil (2010)

51. **Gilda Motta Santos Neves**
Comissão das Nações Unidas para Consolidação da Paz – perspectiva brasileira (2010)
52. **Alessandro Warley Candeas**
Integração Brasil-Argentina: história de uma ideia na visão do outro (2010)
53. **Eduardo Uziel**
O Conselho de Segurança e a inserção do Brasil no Mecanismo de Segurança Coletiva das Nações Unidas (2010)
54. **Márcio Fagundes do Nascimento**
A privatização do emprego da força por atores não-estatais no âmbito multilateral (2010)
55. **Adriano Silva Pucci**
O estatuto da fronteira Brasil – Uruguai (2010)
56. **Mauricio Carvalho Lyrio**
A ascensão da China como potência: fundamentos políticos internos (2010)
57. **Carlos Alfonso Iglesias Puente**
A cooperação técnica horizontal como instrumento da política externa: a evolução da Cooperação Técnica com Países em Desenvolvimento – CTPD – no período 1995-2005 (2010)
58. **Rodrigo d’Araujo Gabsch**
Aprovação interna de tratados internacionais pelo Brasil (2010)
59. **Michel Arslanian Neto**
A liberalização do comércio de serviços do Mercosul (2010)
60. **Gisela Maria Figueiredo Padovan**
Diplomacia e uso da força: os painéis do Iraque (2010)

61. **Oswaldo Biato Júnior**
A parceria estratégica sino-brasileira: origens, evolução e perspectivas (2010)
62. **Octávio Henrique Dias Garcia Côrtes**
A política externa do Governo Sarney: o início da reformulação de diretrizes para a inserção internacional do Brasil sob o signo da democracia (2010)
63. **Sarquis J. B. Sarquis**
Comércio internacional e crescimento econômico no Brasil (2011)
64. **Neil Giovanni Paiva Benevides**
Relações Brasil-Estados Unidos no setor de energia: do Mecanismo de Consultas sobre Cooperação Energética ao Memorando de Entendimento sobre Biocombustíveis (2003-2007). Desafios para a construção de uma parceria energética (2011)
65. **Luís Ivaldo Villafañe Gomes Santos**
A arquitetura de paz e segurança africana (2011)
66. **Rodrigo de Azeredo Santos**
A criação do Fundo de Garantia do Mercosul: vantagens e proposta (2011)
67. **José Estanislau do Amaral**
Usos da história: a diplomacia contemporânea dos Estados Bálticos. Subsídios para a política externa brasileira (2011)
68. **Everton Frask Lucero**
Governança da internet: aspectos da formação de um regime global e oportunidades para a ação diplomática (2011)
69. **Rafael de Mello Vidal**
A inserção de micro, pequenas e médias empresas no processo negociador do Mercosul (2011)

70. **Bruno Luiz dos Santos Cobuccio**
A irradiação empresarial espanhola na América Latina: um novo fator de prestígio e influência (2011)
71. **Pedro Escosteguy Cardoso**
A nova arquitetura africana de paz e segurança: implicações para o multilateralismo e para as relações do Brasil com a África (2011)
72. **Ricardo Luís Pires Ribeiro da Silva**
A nova rota da seda: caminhos para presença brasileira na Ásia Central (2011)
73. **Ibrahim Abdul Hak Neto**
Armas de destruição em massa no século XXI: novas regras para um velho jogo. O paradigma da iniciativa de segurança contra a proliferação (PSI) (2011)
74. **Paulo Roberto Ribeiro Guimarães**
Brasil – Noruega: construção de parcerias em áreas de importância estratégica (2011)
75. **Antonio Augusto Martins Cesar**
Dez anos do processo de Kimberley: elementos, experiências adquiridas e perspectivas para fundamentar a atuação diplomática brasileira (2011)
76. **Ademar Seabra da Cruz Junior**
Diplomacia, desenvolvimento e sistemas nacionais de inovação: estudo comparado entre Brasil, China e Reino Unido (2011)
77. **Alexandre Peña Ghisleni**
Direitos Humanos e Segurança Internacional: o tratamento dos temas de Direitos Humanos no Conselho de Segurança das Nações Unidas (2011)
78. **Ana Maria Bierrenbach**
O conceito de responsabilidade de proteger e o Direito Internacional Humanitário (2011)

79. **Fernando Pimentel**
O fim da era do petróleo e a mudança do paradigma energético mundial: perspectivas e desafios para a atuação diplomática brasileira (2011)
80. **Luiz Eduardo Pedroso**
O recente fenômeno imigratório de nacionais brasileiros na Bélgica (2011)
81. **Miguel Gustavo de Paiva Torres**
O Visconde do Uruguai e sua atuação diplomática para a consolidação da política externa do Império (2011)
82. **Maria Theresa Diniz Forster**
Oliveira Lima e as relações exteriores do Brasil: o legado de um pioneiro e sua relevância atual para a diplomacia brasileira (2011)
83. **Fábio Mendes Marzano**
Políticas de inovação no Brasil e nos Estados Unidos: a busca da competitividade – oportunidades para a ação diplomática (2011)
84. **Breno Hermann**
Soberania, não intervenção e não indiferença: reflexões sobre o discurso diplomático brasileiro (2011)
85. **Elio de Almeida Cardoso**
Tribunal Penal Internacional: conceitos, realidades e implicações para o Brasil (2012)
86. **Maria Feliciano Nunes Ortigão de Sampaio**
O Tratado de Proibição Completa dos Testes Nucleares (CTBT): perspectivas para sua entrada em vigor e para a atuação diplomática brasileira (2012)
87. **André Heráclio do Rêgo**
Os sertões e os desertos: o combate à desertificação e a política externa brasileira (2012)

88. **Felipe Costi Santarosa**
Rivalidade e integração nas relações chileno-peruanas: implicações para a política externa brasileira na América do Sul (2012)
89. **Emerson Coraiola Kloss**
Transformação do etanol em commodity: perspectivas para uma ação diplomática brasileira (2012)
90. **Elias Antônio de Luna e Almeida Santos**
Investidores soberanos: implicações para a política internacional e os interesses brasileiros (2013)
91. **Luiza Lopes da Silva**
A questão das drogas nas Relações Internacionais: uma perspectiva brasileira (2013)
92. **Guilherme Frazão Conduru**
O Museu Histórico e Diplomático do Itamaraty: história e revitalização (2013)
93. **Luiz Maria Pio Corrêa**
O Grupo de Ação Financeira Internacional (GAFI): organizações internacionais e crime transnacional (2013)
94. **André Chermont de Lima**
Copa da cultura: o campeonato mundial de futebol como instrumento para a promoção da cultura brasileira no exterior (2013)
95. **Marcelo P. S. Câmara**
A política externa alemã na República de Berlim: de Gerhard Schröder a Angela Merkel (2013)
96. **Ana Patrícia Neves Tanaka Abdul-Hak**
O Conselho de Defesa Sul-Americano (CDS): objetivos e interesses do Brasil (2013)
97. **Gustavo Rocha de Menezes**
As novas relações sino-africanas: desenvolvimento e implicações para o Brasil (2013)

98. **Erika Almeida Watanabe Patriota**
Bens ambientais, OMC e o Brasil (2013)
99. **José Ricardo da Costa Aguiar Alves**
O Conselho Econômico e Social das Nações Unidas e suas propostas de reforma (2013)
100. **Mariana Gonçalves Madeira**
Economia criativa: implicações e desafios para a política externa brasileira (2014)
101. **Daniela Arruda Benjamin**
A aplicação dos atos de organizações internacionais no ordenamento jurídico brasileiro (2014)
102. **Nilo Dytz Filho**
Crise e reforma da Unesco: reflexões sobre a promoção do poder brando do Brasil no plano multilateral (2014)
103. **Christiano Sávio Barros Figueirôa**
Limites exteriores da plataforma continental do Brasil conforme o Direito do Mar (2014)
104. **Luís Cláudio Villafañe G. Santos**
A América do Sul no discurso diplomático brasileiro (2014)
105. **Bernard J. L. de G. Klingl**
A evolução do processo de tomada de decisão na União Europeia e sua repercussão para o Brasil (2014)
106. **Marcelo Baumbach**
Sanções do Conselho de Segurança: direito internacional e prática brasileira (2014)
107. **Rui Antonio Jucá Pinheiro de Vasconcellos**
O Brasil e o regime internacional de segurança química (2014)

- 108. Eduardo Uziel**
O Conselho de Segurança, as missões de paz e o Brasil no mecanismo de segurança coletiva das Nações Unidas (2ª edição, 2015)
- 109. Regiane de Melo**
Indústria de defesa e desenvolvimento estratégico: estudo comparado França-Brasil (2015)
- 110. Vera Cíntia Álvarez**
Diversidade cultural e livre comércio: antagonismo ou oportunidade? (2015)
- 111. Claudia de Angelo Barbosa**
Os desafios da diplomacia econômica da África do Sul para a África Austral no contexto Norte-Sul (2015)
- 112. Carlos Alberto Franco França**
Integração elétrica Brasil-Bolívia: o encontro no rio Madeira (2015)
- 113. Paulo Cordeiro de Andrade Pinto**
Diplomacia e política de defesa: o Brasil no debate sobre a segurança hemisférica na década pós-Guerra Fria (1990-2000) (2015)
- 114. Luiz Alberto Figueiredo Machado**
A plataforma continental brasileira e o direito do mar: considerações para uma ação política (2015)
- 115. Alexandre Brasil da Silva**
Bioética, governança e neocolonialismo (2015)







Formato	15,5 x 22,5 cm
Mancha gráfica	12 x 18,3 cm
Papel	pólen soft 80 g (miolo), cartão supremo 250 g (capa)
Fontes	Frutiger 55 Roman 16/18 (títulos), Chaparral Pro 12/16 (textos)