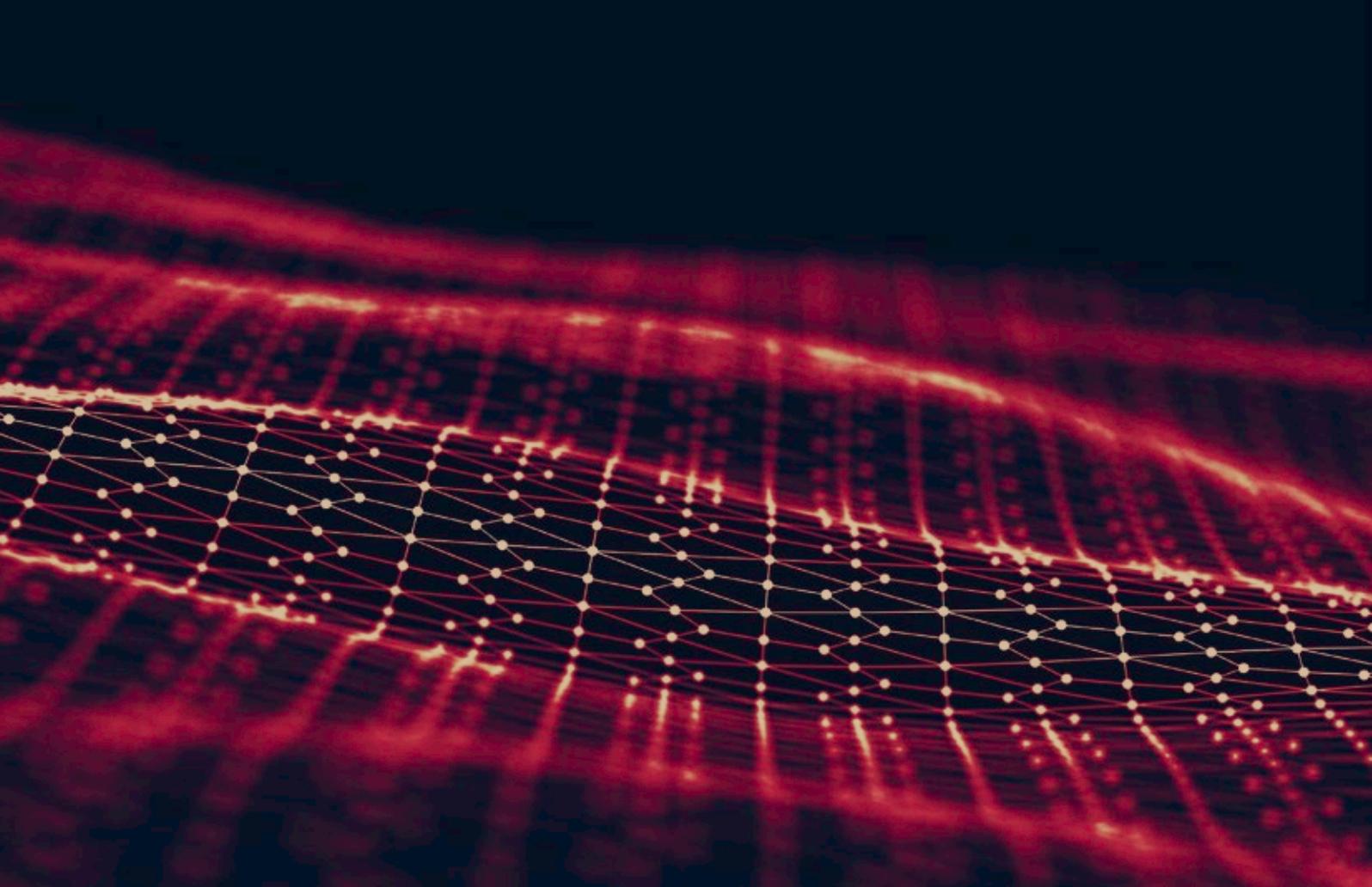


06

REVISTA

Nº6_ Jan-Jun_2019
ISSN 2358-9841

PolitiKa



Ciência e Tecnologia

O BRASIL E A NOVA ECONOMIA DO CONHECIMENTO

projeto nacional | inovação | políticas de C&T | ciência na agricultura | ciência e defesa |
produção aeronáutica | sistema elétrico | desafios estruturais | matriz energética | tecnologia



HUMBOLDT-VIADRINA
Governance Platform



Fundação
João Mangabeira

REVISTA

PolitiKa



Organização

Fundação
João Mangabeira

Colaboração



HUMBOLDT-VIADRINA
Governance Platform

REVISTA POLITIKA

CONSELHO EDITORIAL

Carlos Siqueira
Ricardo Coutinho
Alexandre Navarro
Gesine Schwan
Alexander Blankenagel
César Benjamin
Marcia H. G. Rollemberg
Rafael Araripe Carneiro
Adriano Sandri
Paulo Bracarense
Oswaldo Saldias
Tania Bacelar de Araújo
Raimundo Pereira

DIRETOR RESPONSÁVEL

Alexandre Navarro

EDITOR

César Benjamin

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Marcia H. G. Rollemberg

JORNALISTA RESPONSÁVEL

Luciana Capiberibe

REVISÃO

Laerte de Abreu Júnior

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Traço Design

IMAGEM DE CAPA

Dmitriy Razinkov / Shutterstock.com

FUNDAÇÃO JOÃO MANGABEIRA

CONSELHO CURADOR

PRESIDENTE
Carlos Siqueira

MEMBROS TITULARES
Adilson Gomes da Silva
Álvaro Cabral
Cristina Almeida
Dalvino Franca
Domingos Leonelli
Francisco Cortez
Gabriel Maia
Jairon Nascimento
James Lewis
Joilson Cardoso
Manoel Alexandre
Paulo Bracarense
Ricardo Coutinho
Serafim Corrêa
Silvânio Medeiros
Vera Regina Müller

MEMBROS SUPLENTE

Felipe Martins
Henrique Antão
Israel Rocha

CONSELHO FISCAL

MEMBROS TITULARES
Ana Lúcia de Faria Nogueira
Carlos Magno Barbosa do Amaral Junior
Gerson Bento da Silva Filho

MEMBROS SUPLENTE

Alessandro Antônio Stefanutto
Paulo Sérgio Bomfim

DIRETORIA EXECUTIVA

DIRETOR PRESIDENTE
Ricardo Coutinho

DIRETOR VICE-PRESIDENTE
Alexandre Navarro

DIRETOR FINANCEIRO
Renato Xavier Thiebaut

DIRETOR DE ESTUDOS E PESQUISAS
Carlos Amastha

DIRETOR DE ORGANIZAÇÃO
Fabio Maia

EQUIPE DA FJM

GERENTE EXECUTIVA
Márcia H. G. Rollemberg

COORDENAÇÃO DA ESCOLA
JOÃO MANGABEIRA
Adriano Sandri

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO
Luciana Capiberibe

ASSISTENTES
Bruna Lacerda
Elsa Medeiros
Fernanda Regis Cavicchiolli
Filipe Gomes Franca

AUXILIARES
Daniela Ferreira dos Santos
Edson Martins dos Santos
Sebastião Antônio Correia

Copyright ©Fundação João Mangabeira 2019

CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

F981 Revista Politika [texto (recurso eletrônico)]
/ Fundação João Mangabeira. – Brasília: Editora FJM
– 164 p. : il. : color. – n. 6 (jan-jun. 2019).

Semestral

Publicação on-line:

<www.fjmangabeira.org.br/revistapolitika>

Organizador: César Benjamin.

ISSN: 2358-9841

1. Publicações – Periódicos. 2. Política – Periódicos.

3. Políticas Públicas – Periódicos. I. Journal Politika.

II. Benjamin, César.

CDD 32(05)

CDU: 320(051)

Ficha catalográfica:

Wilians Juvêncio da Silva CRB 1/3140 – 1ª Região. DOX

Publicação eletrônica:

<http://www.fjmangabeira.org.br/revistapolitika>

FUNDAÇÃO JOÃO MANGABEIRA

Sede própria – SHIS QI 5 – Conjunto 2 casa 2

CEP 71615-020 – Lago Sul – Brasília, DF

Telefax: (61) 3365-4099/3365-5277/3365-5279

www.fjmangabeira.org.br | www.facebook.com/Fjoamangabeira

twitter.com/fj_mangabeira | www.instagram.com/fjmangabeira

www.tvjoamangabeira.org.br | www.observatoriodademocracia.org.br

HUMBOLDT-VIADRINA GOVERNANCE PLATFORM

Pariser Platz 6, Im Allianz Forum

10117 Berlin - Germany

Tel. +49 30 2005 971 10

office.schwan@humboldt-viadrina.org

ACESSE:

<http://fjmangabeira.org.br/revistapolitika>



No seu *smartphone* ou *tablet* baixe aplicativos gratuitos para leitura da Revista.

sumário

4

editorial

POR UMA REVOLUÇÃO
CIVILIZATÓRIA NO BRASIL

Carlos Siqueira

6

apresentação

DESAFIOS DA CIÊNCIA NO BRASIL

Ricardo Coutinho

10

projeto nacional

CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL:
DESAFIOS AO PROJETO NACIONAL

Aldo Rebelo
Luís Antônio Paulino

20

inovação

DESAFIOS PARA A
INOVAÇÃO NO BRASIL

João Alberto De Negri
Eric Jardim Cavalcanti

38

políticas
de C&T

AVANÇOS DAS ÚLTIMAS
DÉCADAS E DESAFIOS
PARA O FUTURO

**Sergio Machado
Rezende**

56

ciência na
agricultura

O PAPEL DA EMBRAPA NO
DESENVOLVIMENTO E NA
SUSTENTABILIDADE DA
AGRICULTURA BRASILEIRA

Antonio Flavio Dias Avila

70

ciência e
defesa

A CONTRIBUIÇÃO DA
MARINHA DO BRASIL

**Carlos Alberto Aragão
de Carvalho Filho**
**Guilherme da Silva
Sineiro**

82

produção
aeronáutica

O CLUSTER AERONÁUTICO BRASILEIRO:
AS CONTRIBUIÇÕES PARA O SISTEMA DE
INOVAÇÃO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Thiago Calliari
**José Henrique de Souza
Damiani**

98

sistema
elétrico

COOPERAÇÃO E
COMPETIÇÃO NO
SINGULAR SISTEMA
ELÉTRICO BRASILEIRO

**Roberto Pereira
D'Araújo**

122

desafios
estruturais

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E
INOVAÇÃO: POLÍTICAS
BRASILEIRAS NO SÉCULO XXI

José Cassiolato
Helena Lastres

136

matriz
energética

A MATRIZ
ENERGÉTICA
BRASILEIRA NO
HORIZONTE DE 2050

**João Bosco de
Almeida**

150

tecnologia

A GOVERNANÇA DA
QUARTA REVOLUÇÃO
INDUSTRIAL

Guido Bertucci



Carlos Siqueira

Presidente nacional do Partido Socialista Brasileiro.

Por uma revolução civilizatória no Brasil

O tema ciência, tecnologia e inovação tem sido objeto de atenção do Partido Socialista Brasileiro (PSB) há muito tempo. Em vários momentos, lideranças partidárias conduziram essa política pública, na condição de ministros de Estado, procurando abordá-la no âmbito do ideário do socialismo democrático.

Para o PSB, a concepção e a implantação das políticas de ciência, tecnologia e inovação devem partir de uma visão de país, do lugar do país no mundo e dos modos pelos quais o progresso deve contribuir para revolucionar a sociedade brasileira, superando a mentalidade colonial que ainda temos. Isso tem desdobramentos internos, pois desigualdade, violência e preconceito são elementos claros, e externos, pois parte de nossas elites pensa a inserção internacional do Brasil nos limites de seus próprios interesses.

Pensar o país requer formular um projeto estratégico de desenvolvimento, algo que tenha por horizonte cinquenta anos, e não as próximas eleições ou o futuro governo. Esse horizonte temporal requer uma ampla concertação, que articule o mundo político, as elites econômicas e a sociedade civil em torno de ideias básicas, grandes vetores que façam sentido e estimulem todos, como participantes e beneficiários do êxito que se puder alcançar.

É fundamental abandonar a mentalidade de país colonizado, buscando uma inserção no mundo que nos leve para além da condição de exportador de produtos primários.

Precisamos, em primeiro lugar, revolucionar a nossa indústria. Torná-la intensiva em tecnologia, agregar valor à produção, fabricar e exportar produtos finais, em lugar de nos concentrar nas etapas intermediárias da cadeia produtiva, para em seguida importar, a preço de ouro, aqueles mesmos produtos finais que deveríamos gerar internamente.

É imperativo conceber estratégias que nos levem para dentro da economia do conhecimento. Temos que empreender todos os esforços possíveis, superar todas as limitações, para que sejamos produtores de tecnologia em todas as áreas relevantes, como robótica, biotecnologia, sistemas e informações, mobilidade e automação, entre outras.

Precisamos vencer o desafio educacional, tarefa de escala imensa. Temos que ganhar a batalha do analfabetismo, abrindo as portas da sociedade letrada para todos os brasileiros.

No ensino básico é imperioso somar à universalização, da qual nos aproximamos, a qualidade. Crianças e jovens devem adquirir os conhecimentos essenciais nas letras, nas humanidades, na matemática. Para isso é preciso política no sentido nobre do termo, vontade, para não justificar a inação a partir do fracasso que colhemos no passado. É essencial olhar para a frente, aprender com o mundo, inventar soluções que ainda não ocorreram a ninguém e, definitivamente, pensar em longo prazo, com planejamento, orçamento adequado, políticas

corretamente formalizadas, estrutura suficiente e eficiente.

No âmbito do ensino universitário, é fundamental ampliar a proporção de carreiras técnicas, relativamente àquelas relacionadas às humanidades. Esse requisito não tem nada a ver com a avaliação de mérito de cada carreira, mas com uma desproporção expressiva entre os dois tipos de formação, em desfavor daquelas que são técnicas. Esse é um fator chave de sucesso na produção de tecnologia, como bem demonstram as histórias recentes da Índia, da China e de outros países do Leste Asiático.

As condições apontadas até aqui, embora essenciais, não são suficientes para organizar as políticas de ciência, tecnologia e informação. É fundamental articular instituições de ensino e pesquisa, de um lado, e empresas, de outro. Os investimentos na área devem ser incorporados pelas empresas nas suas rotinas produtivas e no planejamento de investimentos. Tal concertação exige interferência estatal, pois são as universidades públicas as que, tradicionalmente, realizam pesquisa no Brasil.

Não são poucos os exemplos de êxito que merecem destaque. Inicialmente vale citar a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que formou um amplo conjunto de técnicos e realizou pesquisa aplicada em todos os setores em que atua, contribuindo de forma decisiva para o desenvolvimento da agropecuária brasileira, para a diversidade natural e para a proteção dos nossos biomas.

No segmento de materiais, há um núcleo de excelência articulado pela Marinha brasileira, junto com instituições universitárias, que tem pesquisado ligas especiais e novos materiais, com participação decisiva no domínio completo do ciclo de enriquecimento de urânio.

A produção de aeronaves civis e militares já se consolidou, a ponto de termos na Embraer uma das empresas líderes do mundo, especialmente em projetos e produção de aviões de pequeno e médio porte, que são essenciais ao competitivo mercado de voos domésticos, regionais e de curta distância.

Há que se considerar, contudo, que ainda nos falta alcançar avanços de grande relevância para fins de nossa própria soberania. Disso são exemplos o desenvolvimento de satélites e o Programa Espacial Brasileiro.

Aqui há clara ausência de percepção estratégica, o que conduz, na prática, à inexistência de investimentos no setor. O quadro geral pode ser medido pelo tratamento que recebeu a Alcântara Cyclone Space, empresa binacional constituída pelo Brasil e a Ucrânia, que tinha entre seus objetivos a transferência de tecnologia aeroespacial. Depois de anos de esforços, com recursos expressivos alocados no projeto, ele foi simplesmente abandonado, como se fosse uma “ideia exótica”, desconsiderando-se a relevância de se dominar tecnologias que têm implicações claras sobre os interesses econômicos estratégicos do Brasil, além de repercussões em nossa política de defesa.

O sistema hidrelétrico brasileiro alcançou grande maturidade, o que tem permitido conceber e executar projetos complexos de engenharia que nos dão uma relativa tranquilidade na frente energética, sem um exagerado impacto ambiental, pois temos uma dependência moderada de combustíveis fósseis para produzir eletricidade.

Não chegamos ainda, no entanto, a ter uma matriz energética limpa,

compatível com as potencialidades do país. Temos conhecimento desenvolvido para a produção de energia elétrica a partir da biomassa, do Sol e dos ventos, que podem ter aplicações em diferentes escalas.

Apesar de tantas possibilidades – desde o domínio da energia nuclear até os benefícios de uma geografia que permitiria ao Nordeste brasileiro ser um grande produtor de energia limpa –, ainda faltam investimentos suficientes e políticas adequadas, algo que limita de forma significativa o nosso crescimento.

Apesar de toda dificuldade recente que a envolveu, não se pode deixar de lado, como caso de êxito, a Petrobras. Além de ser uma das maiores empresas do mundo, ela alcançou liderança tecnológica na exploração de reservas marítimas de petróleo, com a perfuração de poços de grande profundidade.

O que nos ensinam esses exemplos, entre outros, para o futuro de um projeto nacional de desenvolvimento? Inicialmente, que é imprescindível desenhar uma visão estratégica de futuro. Precisamos realizar todos os esforços necessários à qualificação tecnológica do nosso parque industrial, organizando uma política setorial adequada a essa finalidade.

Na última década, o Brasil não teve uma política industrial digna deste nome. Não houve uma adequada escolha de prioridades estratégicas e tampouco se adensou o investimento no setor. O resultado dessa “não política” aparece em uma forte desindustrialização do país, com impactos severos sobre níveis de renda, riqueza e emprego – cuja marcha só não é mais catastrófica porque a informalidade cuidou do desespero dos que não conseguiram retomar relações assalariadas.

Avolumam-se, ainda, as atividades ligadas aos serviços, mas a imensa maioria de empreendimentos e empregos criados são de baixa qualidade.

A biotecnologia constitui outra grande fronteira estratégica no tema da ciência, tecnologia e inovação, pois ela tem grande contribuição a dar no aproveitamento dos biomas brasileiros, observando-se de modo rigoroso os requisitos da preservação ambiental. Nesse contexto, a Amazônia é uma realidade específica, por suas potencialidades nas áreas da biodiversidade, de fármacos e outras. Há igualmente uma implicação no âmbito da defesa nacional, pois não é simples manter esse imenso território sem que ele possa ser aproveitado de algum modo, especialmente para potencializar sua preservação.

É preciso, por fim, que se desenvolva uma indústria eletroeletrônica nacional, para nos livrarmos da condição de importadores permanentes de bens de baixa complexidade tecnológica, mas que têm grande importância no consumo das famílias, o que produz uma pressão constante sobre o balanço de pagamentos.

As preocupações que foram pontuadas aqui estão presentes nos artigos que compõem esta edição da revista *PolitiKa*.

O PSB tem uma história construída na defesa das agendas populares, do desenvolvimento, da soberania nacional. Não podemos desejar pouco, ou propor somente aquilo que é convencional. Não devemos nos acomodar ao que interessa a uma parte das nossas elites, cujo senso de país termina na quadra curta de seus interesses.

O PSB é um sujeito coletivo que anima um projeto civilizatório voltado para alcançar os mais elevados resultados do desenvolvimento tecnológico, no contexto de uma estratégia de inclusão de todo e cada sujeito humano, até o ponto em que ele possa alcançar plena autonomia.

Desejo a todos os filiados(as), dirigentes, simpatizantes, cidadãos(ãs) uma ótima leitura e o melhor proveito, no sentido de acreditarem que podemos construir um Brasil diferente e melhor.



Ricardo Coutinho

Presidente da Fundação João Mangabeira.

Desafios da ciência no Brasil

Ocupam a vanguarda da economia mundial contemporânea os agentes que criam novas combinações produtivas, novos processos e novos produtos. Os poucos espaços nacionais e as poucas grandes empresas que concentram em si a dinâmica da inovação capturam sucessivamente as posições de comando justamente porque conseguem recriá-las. Obtêm assim grandes benefícios na divisão internacional do trabalho.

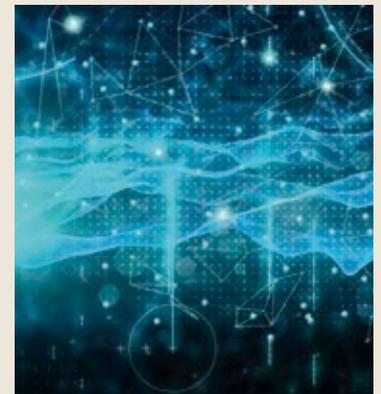
Para sustentar esse processo, as populações das sociedades mais desenvolvidas dedicam-se, em proporções crescentes, a atividades de pesquisa, desenvolvimento, projeto, planejamento, educação e afins. Cada vez mais, ocupam postos de trabalho dedicados ao conhecimento e à informação, *lato sensu*, em relação àqueles que manuseiam diretamente a matéria. Mesmo sem efetuar atividade manual, essa inteligência coletiva adensa as cadeias produtivas e multiplica a produtividade social do trabalho.

Também sob esse ponto de vista o Brasil vive um grande impasse. No século XX, demonstramos grande capacidade de aprender as técnicas da Segunda Revolução Industrial, mas não criamos um sistema produtivo capaz de disputar a liderança da inovação. Isso nos condena a uma posição periférica.

Não estamos na estaca zero, é claro. Formamos a maior e mais diversificada comunidade científica e tecnológica da América Latina, com mais de 120 mil doutores em atividade; estabelecemos importantes centros de pesquisa em diversas áreas; criamos empreendimentos econômicos de excelência mundial. O Partido Socialista Brasileiro já deu grandes contribuições a tais atividades.

Para dar conta dessa realidade complexa, repleta de problemas e potencialidades, dividimos a pauta deste número de Política, dedicado a ciência e tecnologia no Brasil, em três blocos de artigos: (a) os que tratam de questões gerais de política científica e tecnológica, recuperando a trajetória que já

trilhamos; (b) os que mostram experiências brasileiras que tiveram êxito; (c) os que discutem os desafios atuais e fazem projeções para o futuro.



Aldo Rebelo e Luis Antonio Paulino situam a questão de ciência e tecnologia contra o pano de fundo de um projeto nacional, pois ela pode ser usada tanto para a dominação quanto para a emancipação dos povos. Desde a aurora da modernidade os Estados nacionais são decisivos, pois só eles podem correr os riscos inerentes aos altos investimentos, à longa maturação e às incertezas que cercam o amadurecimento de inovações importantes. Todas as grandes empresas privadas de

tecnologia, como a Apple, o Facebook e o Google, dependeram de pesados investimentos públicos para existir. Com a retração do nosso Estado nacional, o Brasil vem perdendo posições na nova divisão mundial do trabalho, enquanto a Ásia ganha protagonismo.



João Alberto de Negri e Eric Jardim Cavalcanti discutem os desafios da inovação no Brasil. Continua embrionária a ligação entre atividade científica e criação de tecnologia. O Brasil já produz cerca de 3% do total de artigos científicos publicados no mundo, mas registra apenas 0,1% das patentes. É baixíssima a percentagem de indústrias brasileiras que criam algum produto novo. Nosso

investimento em pesquisa e desenvolvimento cresce em taxas inferiores às dos países avançados e em um ritmo menor que a média mundial. Esse acanhado patamar relaciona-se também com a contínua queda da participação da indústria no PIB e com a fraqueza do nosso setor de serviços de mais alta intensidade tecnológica.

Sergio Machado Rezende destaca os avanços que obtivemos, especialmente na primeira década do século XXI, mas chama a atenção para a instabilidade que ainda predomina nas políticas públicas. Destaca o enorme retrocesso recente no sistema federal de ciência, tecnologia e inovação com a troca frequente de



ministros – um por ano, em média –, cada um com suas prioridades, provocando descontinuidades em muitos programas. A fusão do antigo Ministério da Ciência e Tecnologia com o das Comunicações relegou o sistema de C&T a um nível mais baixo na hierarquia do governo federal, e os cortes nos orçamentos do CNPq e da Capes têm diminuído o número de bolsas. Corremos o risco de retroceder.



Mas há casos de sucesso. **Antonio Flavio Dias Avila** mostra como o êxito da Embrapa se baseou, em larga medida, em um pesado investimento em formação de pessoal. A empresa tem hoje quase 2.100 pesquisadores com cursos de doutorado realizados nos melhores centros acadêmicos do Brasil e do exterior. Pessoal

qualificado, um sólido planejamento estratégico e modernos processos de gestão transformaram a Embrapa na mais importante referência mundial em agricultura tropical. A empresa foi decisiva para que o Brasil conseguisse quintuplicar a produção de grãos entre 1975 e 2017, apenas dobrando a área plantada. Tal ganho de produtividade garante, de um lado, superávits na balança comercial do país e, de outro, alimentação mais barata e de melhor qualidade no mercado interno.

No mundo contemporâneo, ciência e tecnologia são atividades essenciais às políticas de defesa. Neste número de Política, destacamos as contribuições da Marinha e da Aeronáutica, que atuam em estreita colaboração com universidades, centros de pesquisa e empresas civis. **Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho** e **Guilherme da Silva Sineiro** mostram que a nossa

Marinha pesquisa intensamente em áreas de ponta, como novos materiais, ligas especiais e domínio do espectro eletromagnético. Graças a ela, o Brasil conseguiu ingressar no seleto clube de países que dominam o ciclo completo de enriquecimento do urânio. A produção de submarinos em instalações brasileiras garante a absorção de modernas tecnologias de construção naval, com alto grau de nacionalização de equipamentos e sistemas.



Thiago Caliari e **José Henrique de Sousa Damiani** contam como a Aeronáutica ajudou a transformar a região de São José dos Campos (SP) em um dos grandes polos mundiais de produção aeroespacial, com a ação integrada de governos, empresas privadas e centros acadêmicos de excelência. Trata-se de um setor muito competitivo, com aplicações civis e militares, demandante de trabalho altamente qualificado e com grandes barreiras à entrada, que exige décadas para amadurecer.



Roberto Pereira d'Araújo desvenda as especificidades do sistema elétrico brasileiro, que apresenta características únicas no mundo, sendo, por isso, objeto de grande desinformação. Em certo momento de sua história, a partir da década de 1960, o Brasil compreendeu claramente as potencialidades da sua geografia e criou conhecimento novo em produção e distribuição de eletricidade. Operadas em rede, as linhas de transmissão passaram a ter um papel ativo na oferta da energia, acrescentando 20% de carga ao sistema. A ideia de operar cada usina isoladamente não faz sentido. Desde a década de 1990, porém, tenta-se alargar os espaços mercantis no interior desse sistema essencialmente cooperativo, à custa de acumular custos, complexidades e irracionalidades, tudo repassado ao consumidor. Neste caso, um grande feito tecnológico brasileiro está ameaçado.

Chegamos ao terceiro grupo de artigos, que nos fala dos desafios futuros. **José Cassiolato** e **Helena Lastres** chamam a



atenção para um aspecto importante: a agenda brasileira de ciência, tecnologia e inovação não deve se afastar da questão social e das potencialidades dos territórios. Alimentação, saúde, educação, habitação, tratamento de resíduos sólidos, acesso a água potável e esgotamento sanitário, entre outros serviços essenciais, também demandam soluções inovadoras, portadoras de muito conhecimento. O Brasil possui uma estrutura produtiva heterogênea, apresenta importantes desigualdades regionais e conta com setores tradicionais com grande peso na geração de emprego e renda.



Precisamos, pois, encontrar caminhos próprios, que levem em conta condições sociais e territoriais específicas, o que nos remete de volta à necessidade de um projeto nacional. Além disso, os autores destacam que não se pode esperar que as políticas científicas e tecnológicas obtenham êxito em um ambiente macroeconômico hostil ao desenvolvimento.



João Bosco de Almeida nos fala de uma das grandes potencialidades do Brasil. Em um mundo que lida com escassez, podemos consolidar aqui uma matriz energética limpa e abundante, baseada em recursos renováveis, pois dispomos de biomassa, rios, ventos e insolação em grande escala, ao lado de petróleo, gás natural e urânio. Ele conclui o artigo com um desafio: "Na década de 1960 se decidiu que o desenvolvimento do Nordeste brasileiro seria feito com industrialização. Hoje, o governo poderia orientar suas políticas para que o Nordeste seja o principal fornecedor de energia para o Brasil a partir de fontes renováveis." É uma ideia brilhante para desenvolver a região que tem os melhores ventos, recebe a maior insolação, conta com 3 mil quilômetros de litoral para a construção de usinas eólicas *offshore*, abriga as maiores reservas de urânio, produz muita biomassa e tem grandes áreas propícias para a plantação de florestas energéticas.

Por fim, **Guido Bertucci**, dos Estados Unidos, discute os impactos da Quarta Revolução Industrial, em curso, caracterizada por mudanças sistêmicas e pela interdependência de diferentes tecnologias, com inovações importantes de natureza digital, biológica e física. O progresso tem sido muito rápido em computação quântica, internet das coisas, impressão em 3D, *big data*, cadeias de blocos de dados [*blockchains*], aprendizagem das máquinas e economia sob demanda, perturbando indústrias, negócios, profissões e instituições. No mercado de trabalho, profissões tradicionais tendem a desaparecer, enquanto outras surgem e se expandem. A ação governamental precisará mudar de qualidade para acompanhar tantas transformações.

Ao entregar este sexto número de *Politika*, em edições em português, espanhol e inglês, a Fundação João Mangabeira reafirma seu compromisso com o debate qualificado das grandes questões do Brasil e do mundo.



CIÊNCIA E TECNOLOGIA NO BRASIL: desafios ao projeto nacional

O aperfeiçoamento dos navios conferiu a Portugal a dianteira nas grandes navegações. A máquina a vapor preparou a hegemonia da Inglaterra. A equação de Einstein anunciou a era atômica. Ao longo da história, ciência e tecnologia foram instrumentos de dominação e de emancipação. O atraso do Brasil nessas áreas ajuda a explicar o nosso processo de desindustrialização, os déficits externos e a perda de empregos qualificados, justamente os mais bem remunerados. Enquanto a Ásia ganha protagonismo, nós estamos perdendo posições na nova divisão internacional do trabalho, que está transformando radicalmente o modo como projetamos, produzimos e usamos as coisas.



Aldo Rebelo* e **Luís Antonio Paulino****

* Secretário-chefe da Casa Civil do governo do estado de São Paulo na gestão de Márcio França. Foi ministro da Secretaria de Coordenação Política e Assuntos Institucionais (2003-2005), presidente da Câmara dos Deputados (2005-2006), ministro do Esporte (2012-2014), ministro da Ciência, Tecnologia e Inovação (2015) e ministro da Defesa (2016).

** Professor livre-docente na Universidade Estadual Paulista (Unesp) e diretor do Instituto Confúcio na Unesp.



Introdução

O desenvolvimento da humanidade está profundamente vinculado ao esforço das descobertas científicas, das conquistas tecnológicas e das inovações que elevaram o padrão de vida material e espiritual das pessoas.

O manejo do fogo como fonte primitiva de energia deu aos homens o primeiro grande salto no precário padrão de vida do Paleolítico. A invenção da roda alterou os conceitos de tempo e de velocidade no transporte de equipamentos domésticos, de objetos com finalidades comerciais e de artefatos militares. A domesticação do cavalo nas estepes da Ásia, para montaria e tração, alterou para sempre o deslocamento para fins civis e militares. A cavalaria mudou o conceito da guerra, pois o cavalo estendeu como nunca a logística militar. Os poucos cavalos trazidos por Hernán Cortéz foram suficientes para estabelecer a superioridade dos invasores espanhóis contra a infantaria asteca no que hoje é o México.

Ciência, tecnologia e inovação se combinaram para transformar a vida e a geopolítica em três situações emblemáticas: (a) as grandes navegações dos portugueses e espanhóis nos séculos XV e XVI; (b) a máquina a vapor, com o subsequente estabelecimento da hegemonia industrial, comercial, militar, diplomática e cultural da Inglaterra no século XIX; (c) a fórmula de Einstein ($E = mc^2$), convertida na bomba atômica pelos Estados Unidos como instrumento de domínio militar no século XX.

Ao reunir na chamada Escola de Sagres as técnicas e o conhecimento de chineses e árabes sobre a navegação, o infante dom Henrique garantiu a Portugal a dianteira na corrida pela descoberta de uma rota de comércio para a Ásia que contornasse o bloqueio turco, estabelecido depois da tomada de Constantinopla.

A vela latina, ou triangular, permitiu a navegação contra o vento. Introduzida no Mediterrâneo pelos árabes, mas de origem desconhecida, ela ajudou Vasco da Gama em aventuras por mares nunca antes navegados. Por sua leveza e agilidade, a caravela foi decisiva para superar distâncias transoceânicas. A bússola e o astrolábio completavam o arsenal tecnológico dos navegadores, além dos canhões de bordo, é claro.

Assim, Portugal e Espanha espalharam pelo mundo sua influência comercial, a fé católica e os respectivos idiomas, falados até hoje por povos da América, da África e da Ásia.

A inovação promovida pelos portugueses levou um pequeno país, com pequena população, a um protagonismo que durou séculos na geopolítica do mundo. O épico *Os Lusíadas*, de Luís Vaz de Camões, elevou a literatura portuguesa ao nível dos clássicos eternos ao cantar as glórias e os feitos dos navegadores lusitanos.

Na transição do século XVIII para o século XIX a economia chinesa ocupava o primeiro lugar no mundo. Mas esse panorama logo mudou, com a adaptação de uma antiga invenção do grego Heron de Alexandria: a máquina a vapor.

O grau de domínio da ciência, da tecnologia e da inovação determina a posição de cada país no sistema internacional. Isso é assunto de Estado, de projeto nacional. Exige uma visão de longo prazo. Não pode depender dos humores dos mercados financeiros.

O inglês James Watt converteu o engenho grego em um equipamento poderoso, que revolucionou a indústria têxtil da Inglaterra. Este país passou a liderar a produção industrial e, logo depois, a economia do planeta. Era o prodígio alcançado pela conversão de uma curiosidade científica em invenção, e da invenção em instrumento de um projeto de desenvolvimento nacional e de dominação colonial.

Tecnologia como instrumento de dominação

Em 1793, o rei Jorge III enviou Lord Macartney em embaixada ao imperador Qianlong para oferecer as maravilhas da indústria inglesa aos consumidores chineses. Depois de uma temporada no porto do Rio de Janeiro para repouso e abastecimento, a grande expedição chegou à China, onde foi recebida com mesuras e grande pompa. Mas Qianlong não se interessou pelas novidades. A China produzia te-

cidos finos em grande quantidade, de modo que as peças da indústria têxtil britânica não causaram admiração. Por isso, os chineses conheceram, anos depois, outro equipamento produzido pela máquina a vapor: as canhoneiras inglesas que bombardearam e ocuparam o porto de Cantão. A Guerra do Ópio obrigou a China a abrir seu mercado para as drogas produzidas nas colônias britânicas e os tecidos das fábricas de Manchester.

Com seus portos ocupados por potências europeias, a China foi submetida a um processo de dominação colonial. Na entrada do bairro inglês de Xangai podia-se ler a inscrição: “Proibida a entrada de cães e de chineses”. A humilhação era suprema, mas a exploração era ainda maior. Nasceu nesse período a expressão “negócio da China” para designar transações em que um lado obtém vantagem desproporcional.

Somente em 1998 a Inglaterra devolveu Hong Kong aos chineses. Macau foi devolvida no ano seguinte, depois de um acordo entre China e Portugal.

★ ★ ★

No início do século XX, o físico alemão Albert Einstein revelou ao mundo uma equação que reunia e sintetizava o esforço de cientistas de vários países em muitos anos de pesquisa: $E = mc^2$. A energia era igual à massa multiplicada pela velocidade da luz ao quadrado. Era uma revolução na ciência e uma promessa para o futuro da humanidade: uma pequena porção de matéria poderia se converter em enorme quantidade de energia.

A descoberta de Einstein gerou tecnologias de uso pacífico: submetidos à centrifugação, certos materiais podem produzir combustível ou derivados para a produção de fármacos usados no tratamento de muitas doenças, por exemplo. Mas o uso mais importante e mais duradouro da equação foram as bombas atômicas lançadas pelos Estados Unidos sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki em 1945, no crepúsculo da Segunda Guerra Mundial. Até hoje o arquipélago japonês acolhe parte do arsenal nuclear norte-americano por causa do acordo de rendição assinado depois do conflito.

A pesquisa e a produção de derivados da indústria nuclear são as únicas atividades para as quais não se reconhece propriedade intelectual e industrial, o que garante plena liberdade às potências, que podem sofisticar e multiplicar seus arsenais.

Tecnologia como instrumento de emancipação

No Brasil, o esforço de inovação se confunde com a própria formação da nação. No século XVI, segundo o historiador Jorge Caldeira, “enquanto os médicos europeus manipulavam algo como 150 espécies vegetais, algumas populações trabalhavam com cerca de 3 mil espécies. [...] 3/4 de todas as drogas medicinais de origem vegetal usadas atualmente no mundo derivam desse conhecimento nativo”.¹

Gilberto Freyre relata o conflito em Recife, no século XVIII,

entre moradores e autoridades portuguesas que proibiram a atividade de curandeiros e rezadeiras detentoras do conhecimento nativo. Com suas plantas, eles tratavam de doenças tropicais desconhecidas de médicos europeus com sólida formação acadêmica.

Ainda no século XVI os portugueses estabeleceram no Brasil os primeiros engenhos, vanguarda da atividade industrial, produtores da mais valiosa *commodity* de então, a cana-de-açúcar. Se compararmos o processo de produção do primeiro engenho introduzido por dona Ana Pimentel na capitania de São Vicente com as atuais indústrias de etanol, de segunda geração, descreveremos uma longa e vitoriosa trajetória de inovação nessa importante atividade industrial do Brasil.

O alvará de Dom João VI, de 1809, concedendo vantagens aos inventores e um período de monopólio sobre seus inventos, constituiu a primeira lei de propriedade intelectual do Brasil e a quarta do mundo, logo depois de leis semelhantes na Inglaterra, na França e nos Estados Unidos.

O brasileiro Bartolomeu de Gusmão, o “padre voador”, foi o primeiro homem a fazer voar o aeróstato, apelidado de “passarola”, em 1709, diante de uma Lisboa surpreendida e admirada. Essa tradição de brasileiros interessados em superar os limites da gravidade foi seguida por Augusto Severo e Santos Dumont na Paris de fins do século XIX e do começo século XX.

Antes de Santos Dumont, Augusto Severo tentara a mesma proeza que o gênio do 14Bis con-

seguiu realizar. O artefato do piloto e engenheiro explodiu no ar e caiu sobre a capital francesa. A rua que testemunhou o sinistro recebeu o nome do inventor brasileiro.

Engenheiro, industrial, inventor e político potiguar, Severo é pouco lembrado, o que constitui uma injustiça, pois seu esforço ombreia a saga de Santos Dumont em libertar o homem dos limites da gravidade. Além de uma rua em São Paulo, seu nome batiza o antigo aeroporto de Natal. Muito pouco para tão grande exemplo.

Por muito tempo, a escassez de centros universitários e de pesquisa restringiu o universo científico do país a um grupo de pesquisadores oriundos das escolas militares ou das faculdades de medicina ou de direito.

Arthur Ramos, Nise da Silveira, Anísio Teixeira, Josué de Castro, Pirajá da Silva, Rocha Lima, Samuel Pessoa, Alberto da Mota e Silva, Casimiro Montenegro, Carlos Chagas, Vital Brazil, Othon Pinheiro, entre outros, destacaram-se como inventores e pioneiros em ciências sociais, medicina, pesquisa nuclear e espacial.

Gilberto Freyre e Darcy Ribeiro, nas ciências sociais, César Lattes, Mário Schenberg e José Leite Lopes, na física, são exceções que confirmam a regra de médicos e bacharéis dedicados ao ensino e à pesquisa no Brasil.

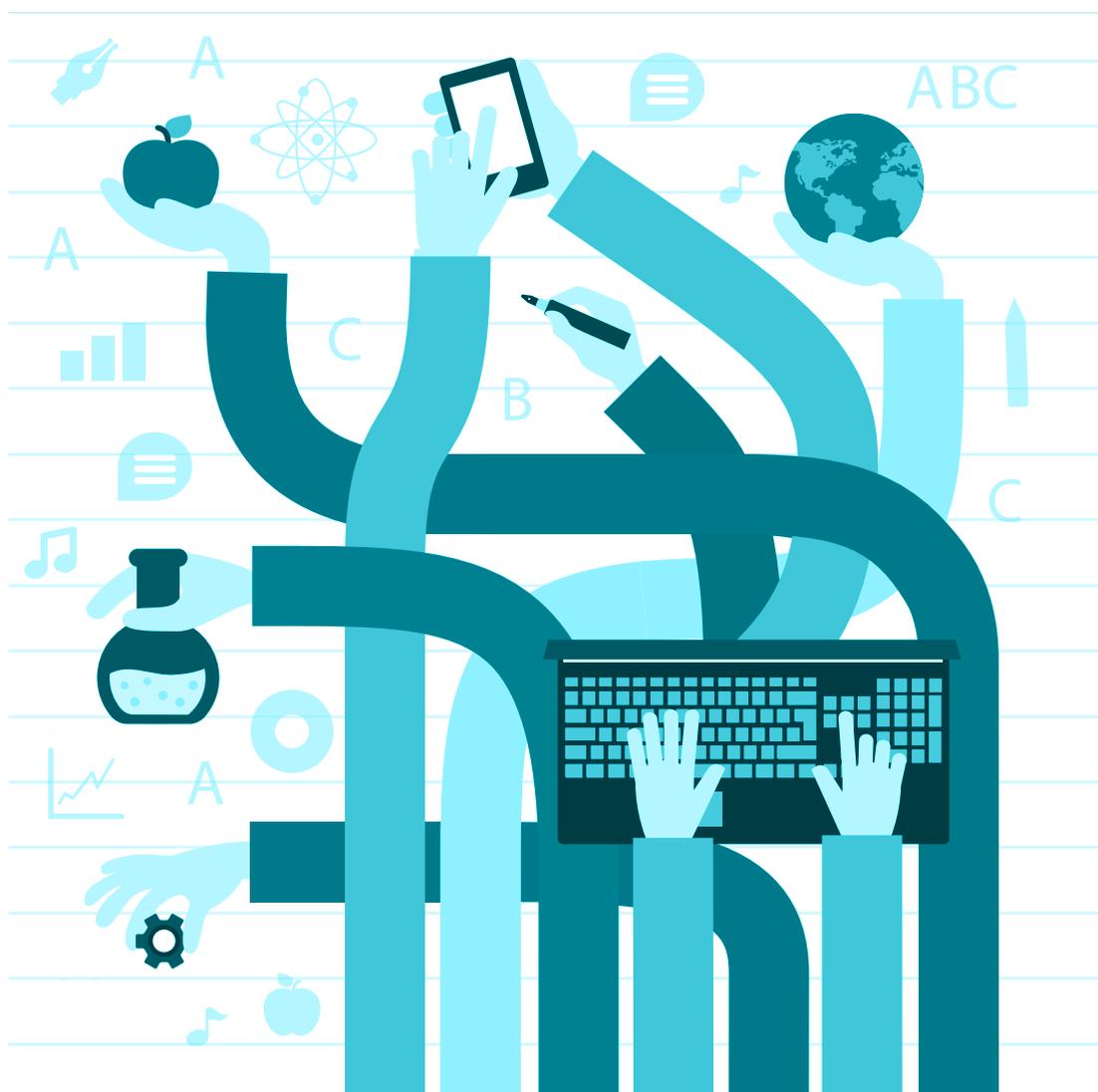
O presidente Sarney criou o Ministério da Ciência e Tecnologia a partir das estruturas, já existentes, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). O pri-

meiro titular da pasta foi Renato Archer, um antigo discípulo de Alberto da Mota e Silva, fundador do CNPq. Ambos eram oficiais da Marinha interessados em ciência e pesquisa.

Hoje o Brasil dispõe de uma sofisticada rede de universidades e institutos, federais e estaduais – neste caso, principalmente de São Paulo –, que se dedicam ao desenvolvimento científico e tecnológico e à inovação. Este sistema dispõe de importantes instrumentos de financiamento, estruturados em fundos próprios ou em leis específicas, como é o caso da Fapesp em São Paulo.

Um estudo divulgado em 2014 pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) mostrou que os recursos mundiais para pesquisa, desenvolvimento e inovação haviam sido reduzidos à metade. A crise que atingiu a economia brasileira também atingiu o orçamento do governo federal para pesquisa, com prejuízo para o esforço de renovação das equipes e o financiamento de equipamentos e projetos.

Quando ocupei o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, preparei e apresentei um decreto para a presidente Dilma



Rousseff, incluindo ciência e pesquisa como uma área a ser beneficiada com os recursos do pré-sal, junto com educação e saúde. Na época, eu disse à presidente que não fazia sentido desvincular educação e saúde, de um lado, e ciência e pesquisa, de outro. Constatei a inexistência de uma única obra ligada a ciência, tecnologia e inovação no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e afirmei que não fazia sentido buscar desenvolvimento, negligenciando ciência e pesquisa. Consegui incluir no PAC as obras do acelerador de partículas Sirius, em Campinas, e do Reator Multipropósito Brasileiro, em São Paulo.

Ainda no ministério, defendi a meta de alcançar a destinação de 2% do PIB para ciência e pesquisa. Apontei as graves consequências das nossas deficiências em ciência, pesquisa e inovação para a competitividade da economia e a qualidade dos empregos gerados no Brasil. O atraso tecnológico do país explica o processo de desindustrialização, os crescentes déficits em transações correntes e a perda de empregos qualificados.

Ciência, tecnologia e inovação determinaram e continuam a determinar o lugar dos países no mundo. Ocupar a posição de protagonista ou ser um simples ponto no mapa-múndi depende da capacidade científica e tecnológica do país, tanto em economia quanto em defesa. A qualidade da educação e a capacidade de inovar em processos industriais e em defesa nacional marcam o passado recente, o presente e o futuro da disputa entre as nações.

O Estado por trás da ciência e da inovação

Na década de 1980, era quase senso comum a ideia de que a economia japonesa se tornara mais competitiva que a norte-americana. Brincava-se na época com a expressão “o meu japonês é melhor do que o seu”, em referência à qualidade dos produtos japoneses, principalmente os eletroeletrônicos.

A disputa gerou um mal-estar que ultrapassou as fronteiras da economia, invadindo a geopolítica e a cultura de massas. Akio Morita divulgou as proezas da Sony em seu livro *Made in Japan*, publicado em 1986. Shintaro Ishihara, intelectual e ex-governador de Tóquio, ampliou a animosidade ao divulgar o ensaio intitulado *O Japão que sabe dizer não*, uma proclamação de ameaças aos Estados Unidos e de afirmação da superioridade nipônica. A tradução para o inglês saiu em 1991.

Nos Estados Unidos a onda antijaponesa não era menor. Em 1989, o cineasta Ridley Scott estreou *Chuva negra*, no qual o ator Michael Douglas é um policial norte-americano que vai ao Japão perseguir a máfia local, Yakuza, e executar seus integrantes. Não poderia haver fábula mais explícita para revelar o estado de espírito dos Estados Unidos em relação ao país asiático. Em 1992, Michael Crichton, escritor de *best-sellers*, publicou *Sol nascente*, romance que denuncia a pretensa deslealdade das empresas japonesas.

Tal era o ambiente quando Bill Clinton foi eleito presidente dos Estados Unidos em 1992. Ele convocou Laura Tyson, pesquisadora

de Berkeley, e pôs o desafio sobre mesa: como enfrentar a crescente competitividade japonesa e recuperar o fôlego da indústria e da tecnologia norte-americanas?

Clinton recebeu um diagnóstico crítico, mas otimista. Os Estados Unidos eram a maior economia do mundo, dispunham do maior orçamento para ciência e pesquisa, contavam com as melhores universidades e os melhores institutos e reuniam os melhores cérebros do planeta em seus laboratórios. As maiores empresas do mundo estavam sediadas lá.

Para recolocar o país na liderança, a equipe de consultores recomendou a ampliação dos recursos para pesquisa, o aumento das encomendas a empresas em setores problemáticos e a integração do sistema de inovação. Feito isso, a ideia de que a economia japonesa ultrapassaria a norte-americana tornou-se uma lenda.

Mariana Mazzucato, pesquisadora titular em economia da inovação no Departamento de Pesquisa em Ciência Política da prestigiada Universidade de Sussex, na Inglaterra, escreveu o importante livro *O Estado empreendedor*, cele-

Sem apoio dos respectivos Estados nacionais não existiriam as grandes empresas privadas que dominam a economia mundial. Elas não se desenvolveram espontaneamente.

brado no mundo inteiro por defender a presença do Estado no esforço de pesquisa e inovação. Apoiada em minuciosa investigação, Mazzucato prova que sem dinheiro do Estado não existiriam as grandes empresas de tecnologia que dominam o mundo a partir dos Estados Unidos. Financiadas pelo Estado, Apple, Facebook e Google resultaram em aplicativos e serviços que determinam a hegemonia norte-americana no setor. A tese de Mazzucato é que só o Estado pode correr os riscos inerentes aos altos investimentos em ciência, pesquisa e inovação.

Os norte-americanos continuam a ser desafiados no espaço euroasiático. A Rússia assombra, ao demonstrar a retomada de sua capacidade militar, amplamente vitoriosa no conflito da Síria. A China desloca seu esforço científico e tecnológico para dotar sua economia de elevado padrão tecnológico e assim reafirmar a própria trajetória em direção à liderança mundial.

Tecnologia: o rei Jano moderno

Foram enormes os impactos das três revoluções industriais dos últimos 250 anos. A primeira transformou radicalmente o mundo. As novas tecnologias introduzidas a partir da máquina a vapor que mecanizou a fiação e a tecelagem deram origem a novos sistemas de produção, transporte, troca e distribuição de produtos.

Mas, assim como o rei Jano, a tecnologia tem duas faces. A Primeira Revolução Industrial contribuiu para enriquecer o mundo

e elevar o padrão geral de vida material da sociedade, mas também permitiu o aumento na exploração e a expansão do colonialismo. Em meados do século XVIII, aproveitando a superioridade tecnológica, econômica e militar, a Inglaterra e as potências aliadas impuseram os chamados “tratados desiguais”, ou “tratados iníquos”, a países tão diferentes como o Brasil (Abertura dos Portos em 1810), a China (Tratado de Nanquim em 1842) e o Japão (Tratado Ansei em 1858).

A partir do domínio da eletricidade, a Segunda Revolução Industrial permitiu introduzir entre 1870 e 1930 um novo conjunto de invenções e inovações, como rádio, telefone, televisão, iluminação elétrica, eletrodomésticos e refrigeração. As inovações em tratamento de água, saneamento e saúde permitiram que a expectativa de vida praticamente dobrasse em todos os países. As descobertas na química, como a sintetização da amônia por meio do processo Haber-Bosch, tornaram possível produzir fertilizantes à base de nitrogênio, preparando a “revolução verde” que ocorreu na década de 1950.

Esses avanços tecnológicos ampliaram a distância entre países ricos e pobres e estiveram presentes na eclosão de duas guerras mundiais que ceifaram dezenas de milhões de vidas, pela letalidade das novas armas.

O desenvolvimento das tecnologias digitais, na segunda metade do século XX, abriu caminho para uma terceira onda de inovações em áreas tão variadas como tecnologias de informação, microeletrônica, biotecnologia, nanotec-

nologia e robótica, entre outras. A redução dos custos de transporte e de transação, proporcionada pelas novas tecnologias de informação, nomeadamente a Internet, promoveu uma nova mudança no sistema global de produção, levando à criação das cadeias globais de valor e ao aprofundamento do processo de globalização produtiva.

Tal fenômeno gerou uma nova divisão internacional do trabalho, na qual as atividades intensivas em conhecimento e tecnologia passaram a se localizar cada vez mais nos países ricos, junto às matrizes das grandes empresas multinacionais, pois são as mais lucrativas e requererem mão-de-obra mais qualificada e bem remunerada. Acrescente-se o interesse dessas grandes empresas em manter em suas matrizes o controle sobre a tecnologia e os segredos industriais. Em contrapartida, as atividades intensivas em mão-de-obra, sobretudo a mais barata, assim como aquelas intensivas no uso de matérias-primas e energia, ou mais poluentes, foram deslocadas para os países em desenvolvimento.

Essa nova divisão internacional do trabalho, viabilizada pelas inovações decorrentes da Terceira Revolução Industrial, tem resultados contraditórios. De um lado, ela aprofundou ainda mais uma divisão do trabalho que concentra nos países ricos as atividades geradoras de maior valor agregado e mais intensivas em conhecimento. De outro, ao viabilizar a integração dos países em desenvolvimento às cadeias globais de valor, permitiu que pela primeira vez a contribuição deles à geração global de riqueza ultrapassasse a dos países ricos.

O país que tirou maior vantagem dessa nova conjuntura foi a China, que se converteu na segunda maior economia e no maior exportador mundial de manufaturas. A Índia também se beneficiou, ocupando um espaço importante na área de tecnologias de informação.

O Brasil e a nova divisão internacional do trabalho

O Brasil, ao contrário da China e da Índia, tem experimentado um processo prematuro de desindustrialização, associado a uma forte tendência de reprimarização da economia. Isso se revela tanto na qualidade dos empregos gerados quanto no conteúdo tecnológico de nossas exportações.

Conforme se observa na Figura 1, segundo dados do Ministério do Trabalho e Emprego a geração

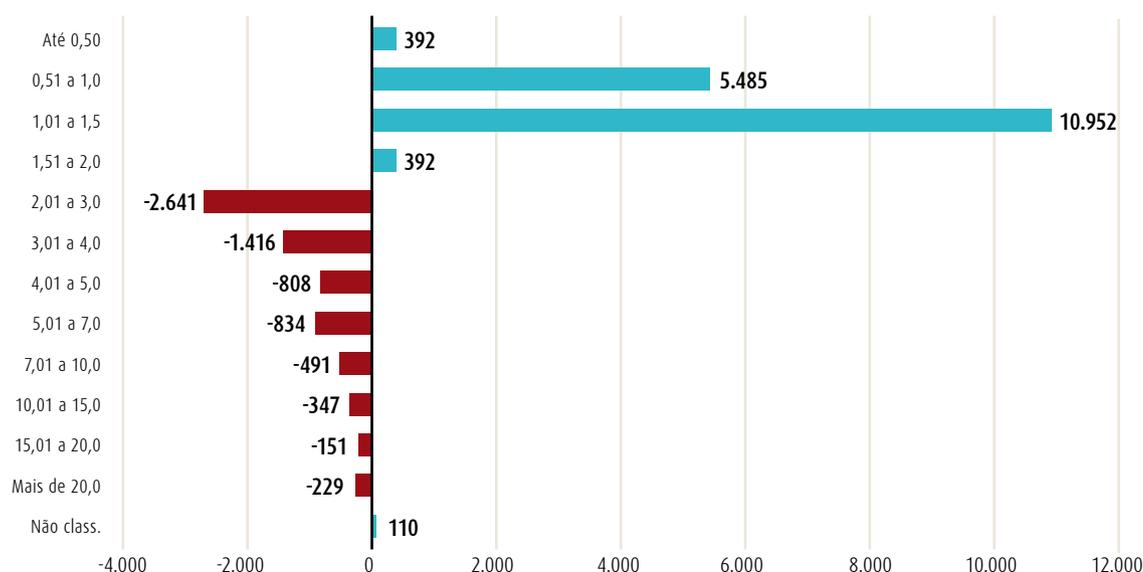
líquida de empregos no país foi de 10,4 milhões de postos formais de trabalho entre 2003 e 2017. Mas a distribuição desse saldo de empregos por faixas salariais traz uma revelação preocupante: na faixa de 0,5 a 2,0 salários mínimos tivemos um saldo positivo de 17,2 milhões de postos formais de trabalho, mas houve uma perda líquida de 6,9 milhões de postos que pagavam acima de dois salários mínimos. As maiores perdas estão concentradas nas faixas de 2 a 3 salários mínimos (menos 2,6 milhões de vagas) e de 3 a 4 salários mínimos (menos 1,4 milhão de vagas).

Observa-se no Brasil um movimento oposto ao da China. Enquanto o custo médio da mão de obra no coração industrial costeiro daquele país mais do que dobrou em comparação ao setor industrial dos Estados Unidos, passando de cerca de 30% em 2000 para 64%

em 2015, no Brasil se estabeleceu a tendência de gerar empregos cada vez mais mal pagos.

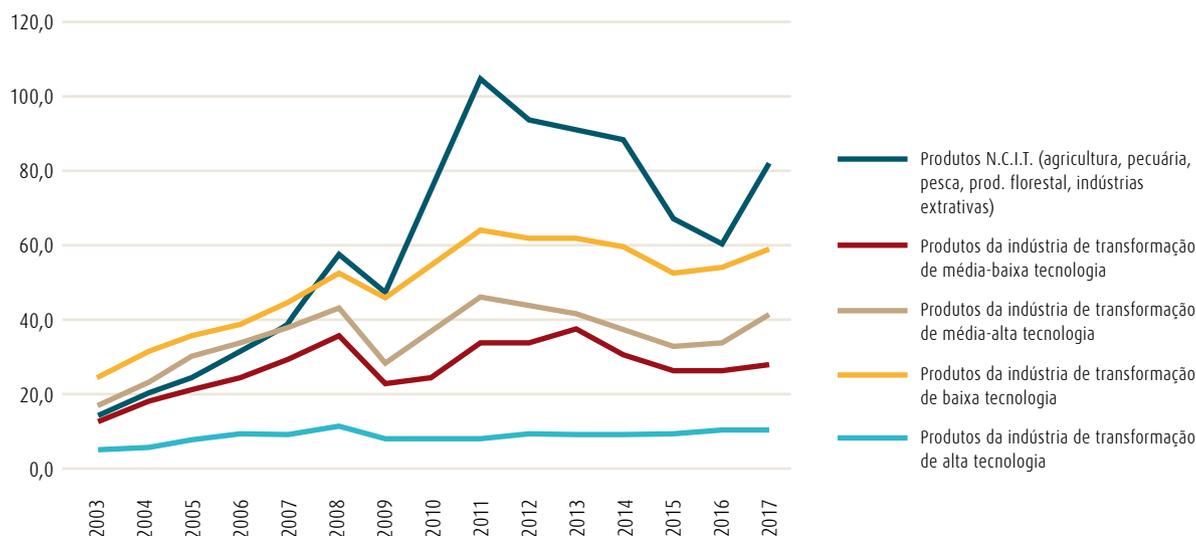
Este fenômeno de empobrecimento tecnológico da produção industrial brasileira também aparece quando se leva em conta a evolução de nossas exportações, desagregadas por conteúdo tecnológico. Como se observa na Figura 2, entre 2003 e 2017 a pauta de exportações brasileiras foi cada vez mais dominada por *commodities*, minerais e agrícolas, e produtos da indústria de transformação de baixa intensidade tecnológica. A participação relativa dos produtos de alta intensidade tecnológica (aeronaves, equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos e produtos farmacêuticos e farmacêuticos) encontra-se aproximadamente nos mesmos níveis nos últimos dezesseis anos.

Figura 1 | Saldo de postos formais de trabalho no Brasil por faixas salariais em número de salários mínimos (2003-2017) - em milhares



Fonte: Ministério do Trabalho e Emprego, Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (Caged). Elaboração dos autores.

Figura 2 | Exportações brasileiras por intensidade tecnológica (2003-2017) - US\$ bilhões



Fonte: Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Elaboração dos autores.

A Quarta Revolução Industrial: novos desafios para os países em desenvolvimento

O mundo assiste hoje à transição para o que se convencionou chamar de Quarta Revolução Industrial. Avanços nas áreas de inteligência artificial e robótica, neurotecnologias, realidade virtual aumentada, novos materiais e tecnologias de energia prometem transformar radicalmente o modo como produzimos e usamos as coisas. São enormes os benefícios e os riscos potenciais dessas novas tecnologias em todos os campos da atividade humana.

Comparadas com as revoluções industriais anteriores, as tecnologias digitais embutem um risco muito maior de que os vencedores dessa nova corrida tecnológica possam tomar todos os mercados e estabelecer um poder de monopólio. O Google controla quase

90% do mercado global de buscas e propaganda na Internet, o Facebook 77% do tráfego em redes sociais e a Amazon quase 75% do mercado de livros eletrônicos.

A expansão digital da Terceira Revolução Industrial permitiu expandir as cadeias globais de valor e integrar países em desenvolvimento no sistema global de produção. A revolução atual pode ter o efeito inverso. Avanços em robótica, inteligência artificial, novos materiais e impressão em 3D podem tornar irrelevantes as vantagens comparativas que permitiram diversos países, nomeadamente a China, se inserir nas cadeias globais de valor.

Robôs mais sofisticados, operando com inteligência artificial e cada vez mais baratos podem eliminar a necessidade de transferir certas etapas da atividade industrial para países com mão de obra de baixo custo, como aconteceu nas últimas décadas. Podemos assistir ao encolhimento das cadeias glo-

bais de valor, levando à exclusão de milhões de trabalhadores e à precarização das condições de vida de centenas de milhões de pessoas nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos Estados Unidos, por exemplo, 94% dos novos empregos criados entre 2005 e 2015 foram em “formas alternativas de trabalho”, sem proteção social, direitos trabalhistas ou qualquer tipo de controle significativo por parte dos trabalhadores.

Diante desse quadro, a China vem tomando uma série de medidas com o objetivo de alterar as bases de seu atual modelo econômico. A transição do país para um novo caminho, baseado em inovações tecnológicas, é necessária para continuar seu processo de desenvolvimento. Tendo acelerado seu crescimento nos últimos trinta anos com base no uso de tecnologias maduras, imitação, poucos direitos de propriedade intelectual dos residentes e até violação,

em alguns casos, de direitos de propriedade intelectual de estrangeiros, a questão agora é gerar inovações autóctones.

Em 2006, o governo adotou a decisão estratégica de transformar a China em um país inovador. Naquele ano, a IV Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia estabeleceu os seguintes pontos: (a) o progresso técnico seria a principal força impulsionadora do desenvolvimento econômico e social; (b) a capacidade independente de inovação seria a principal ligação entre a restauração econômica, a mudança no modelo de crescimento e a melhora da competitividade nacional; (c) a construção de um país inovador seria o principal objetivo estratégico.

Em 2015, o governo lançou uma nova política industrial denominada “Made in China 2025”, cujo principal objetivo é tornar o país independente em tecnologias de ponta e menos dependente da importação de componentes de alto conteúdo tecnológico (em 2014, a China gastou mais com a importação de semicondutores do que com a compra de petróleo). O plano é uma combinação de propostas para estimular os objetivos tecnológicos do país. Tendo como modelo o *Industrie 4.0* da Alemanha, é um roteiro para desviar o setor industrial de atividades que usam muita mão de obra e fabricam produtos de baixo valor – pelas quais o país é conhecido – para um modelo calcado em tecnologia inteligente, algo duplamente útil, uma vez que os custos de mão de obra estão subindo. Embora o objetivo do projeto “Made in China 2025” seja modernizar

a indústria em geral, R. Barbosa (2017) diz que “o plano indica dez setores prioritários: nova tecnologia avançada de informação; robótica e máquinas automatizadas; aeroespacia e equipamento aeronáutico; equipamento naval e navios de alta tecnologia; equipamento de transporte ferroviário moderno; veículos e equipamentos elétricos; equipamentos de geração de energia; máquinas agrícolas; novos materiais, biofármacos e produtos médicos avançados”.

Com o plano, a China almeja produzir partes e componentes de alto valor agregado, aumentando para 40% o conteúdo nacional usado nos produtos tecnológicos até o ano de 2020 e chegando a 70% em 2025. As empresas que se beneficiarem desse apoio deverão alcançar uma participação de pelo menos 80% no mercado doméstico em apenas oito anos. A ascensão da indústria de alta tecnologia da China tem sido impulsionada pelo crescimento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento. De acordo com o Battelle Memorial Institute, a China deverá ultrapassar a Europa em termos de gastos em P&D em 2018 e os Estados Unidos em 2022.

Frente a esses novos desafios, não resta ao Brasil outra alternativa senão investir pesadamente em ciência e tecnologia e em pesquisa e desenvolvimento, caso tenhamos a pretensão de desempenhar algum papel no mundo neste século XXI. Na verdade, não se trata de uma opção, pois a alternativa é nos tornarmos irrelevantes. Resta ao Brasil investir pesadamente em ciência e tecnologia e em pesquisa e desenvolvimento. ■

Nota

1. Caldeira, 2017, p.23

Referências bibliográficas

- BARBOSA, R. *Made in China 2025*. O Estado de S. Paulo, São Paulo, p. A2, 28 mar. 2017. Disponível em: <<https://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,made-in-china-em-2025,70001716537>> Acesso em 18/10/2018
- CALDEIRA, Jorge. *História da riqueza no Brasil*. Rio de Janeiro: Estação Brasil, 2017.
- FREYRE, Gilberto. *Homens, engenharias e rumos sociais*. Rio de Janeiro: Record, 1987.
- HU, Angang. *China in 2020. A New Type of Superpower*. Washington: Brookings Institution Press, 2011.
- LUCAS, F. e FENG, E. “Da cópia à inovação, o novo Made in China”. *Valor*, p. A16, 24 mar. 2017.
- MAZZUCATO, Mariana. *O Estado empreendedor. desmascarando o mito do setor público vs. setor privado*. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.
- OSAWA, Juro e MOZUR, Paul. “The Rise of China’s Innovation Machine”. *The Wall Street Journal*, 16/10/2014. Disponível em <https://www.wsj.com/articles/the-rise-of-china8217s-innovation-machine-1389900484>. Acesso em 18/10/2018
- SCHWAB, Klaus. *Shaping the Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum, 2018
- TYSON, Laura D’Andrea. *Who’s bashing whom? Trade Conflict in High-Tech Industry*. Washington, DC: Institute for International Economics, 1992.
- VIEIRA PINTO, Álvaro. *O conceito de tecnologia*, 2 v., Contraponto, 2005.

DESAFIOS DA INOVAÇÃO NO BRASIL



João Alberto De Negri

Doutor em economia pela UnB, pós-doutor pelo MIT, pesquisador do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).



Eric Jardim Cavalcanti

Economista pela UFRJ, pós-graduando em engenharia de produção, assessor da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

O tempo de maturação de iniciativas em ciência e tecnologia é imprevisível, o que torna o Estado um ator de peso em todo o mundo. Os países mais desenvolvidos escolhem áreas científicas e definem tecnologias críticas a serem dominadas, alocando recursos, de modo planejado, para impulsionar a inovação nos setores selecionados. Não há desenvolvimento tecnológico sem participação ativa do setor público.

Introdução

O Brasil precisará enfrentar grandes desafios para fortalecer a competitividade da sua economia nos próximos anos. A fronteira tecnológica do mundo não para de se deslocar. Novas tendências na manufatura pressionam aqueles que produzem bens e serviços. A manufatura avançada, em especial a manufatura inteligente, aditiva, e sistemas robóticos são a nova fronteira do conhecimento e do desenvolvimento.

O Brasil – especialmente o setor produtivo empresarial – não pode ficar distante dessa nova fronteira. A participação das exportações de produtos manufaturados caiu 40% entre 2002 e 2017, e o saldo da balança co-

mercial de manufaturados se tornou muito negativo, com destaques para importação de bens de capital e bens duráveis. Dois terços dos bens de capital são importados.

No centro deste debate está a formação de recursos humanos, em especial o desenvolvimento de novas áreas em física, engenharia, química, matemática e outros segmentos. Posicionar a produção nacional no que há de mais avançado, com uso intensivo de tecnologias de informação e de comunicação, sensores e máquinas inteligentes no processo industrial é uma questão chave para o aumento da renda e a geração de empregos melhores e mais produtivos.



Há demanda potencial, especialmente em tecnologias críticas nas áreas de energia, saúde, agricultura e defesa. Precisamos ancorar as iniciativas de manufatura avançada em setores onde há tecnologias críticas para serem incorporadas nos setores produtivos brasileiros.

O Brasil precisa pensar em manufatura inteligente a partir de estruturas institucionais que usem o conceito de laboratório aberto, para desenvolver, demonstrar e escalar tecnologias aplicadas a projetos empresariais. Também é essencial desenvolver sistemas robóticos autônomos, voltados para manufatura remota e aplicados em ambientes industriais, agricultura de precisão e equipamentos especiais. São inúmeros os desafios e as possibilidades.

Nas últimas décadas, a matriz de C&T mundial se tornou mais densa e complexa. Há uma interconexão entre áreas de C&T, mudança de escala e intensificação da produção científica em todos os domínios tecnológicos. A singularidade do paradigma tecnológico desta matriz mundial, quando comparada com paradigmas anteriores, é a estreita relação entre a base de conhecimento científico e a produção tecnológica. Esta estreita relação entre ciência e tecnologia explica por que o avanço do conhecimento científico de uma nação determina em grande medida sua capacidade de inovação tecnológica.

Daí a atual relação direta entre capacidade de produção de riqueza e liderança em C&T. Países considerados líderes em C&T são também potências econômicas com

elevados níveis de crescimento da produtividade e, portanto, forte crescimento econômico. Apresentam matrizes cada vez mais complexas em ciência e tecnologia.

O Brasil apresenta pouca sintonia com a matriz mundial, pois concentra atenção em áreas mais distantes da fronteira, nas quais as nações líderes não fazem grandes esforços. Com isso, o Brasil manteve sua posição relativa na corrida tecnológica. Não avançou nem retrocedeu, enquanto outras economias emergentes de grande e médio porte, como China e Coreia, mudaram sua estrutura de C&T e nos ultrapassaram.

Da segunda metade da década de 2000 em diante, há um padrão de C&T mundial concentrado nas áreas tecnológicas que dão suporte a uma nova forma de manufaturar produtos, como tecnologia da informação, biotecnologia e eletrônica. O Brasil tem uma agenda defasada de pesquisa, pouco estruturada e fora do foco da disputa tecnológica. Há grande diferença entre a matriz de C&T brasileira, a mundial e a dos países tecnologicamente emergentes.

É possível mudar esta realidade? Quais são as condições necessárias? Só há uma resposta para isso: sim, é possível mudar o Brasil em uma geração! Para isso é necessário obter uma concertação entre os principais agentes econômicos públicos e privados, se apropriar de soluções encontradas por outros países e demonstrar razoável persistência.

A concertação entre os principais agentes econômicos públicos e privados será o tema mais espinhoso das próximas décadas, prin-

A cultura da inovação deve estar presente na formação profissional dos estudantes, na atividade científica dos pesquisadores e no ambiente interno das empresas.

cialmente por causa dos elevados gastos fiscais do passado recente e de políticas industriais tradicionais, ativas há décadas no Brasil.

A distância que nos separa das nações mais desenvolvidas é grande. Seria possível observar a experiências de outras economias e usar instrumentos adequados para acelerar nossa chegada à fronteira do mundo desenvolvido? A resposta é sim, desde que sejamos capazes de associar atores públicos e privados relevantes do ponto de vista econômico a uma base robusta de ciência e à troca de informações sobre experiências que deram certo.

Essa coordenação *ex-ante* vai muito além da ideia de que a liberalização e a abertura da economia produziriam automaticamente uma convergência tecnológica entre as nações. Esta é uma visão antiga e equivocada. Desenvolvimento produtivo baseado em ciência, inovação e tecnologia exige políticas. Nenhum país conseguiu se aproximar da fronteira tecnológica sem estabelecer uma estreita cooperação entre os setores público e privado. O Brasil retrocedeu e cometeu equívocos em seu processo de abertura. A existência de um ambiente

competitivo é fundamental para a inovação, pois protecionismo e isolamento mantêm a economia e as empresas em suas zonas de conforto. Ao mesmo tempo, a presença do Estado é essencial, pois a incerteza e o risco desse tipo de investimento precisam ser compartilhados e mitigados para estimular o envolvimento das empresas.

A dinâmica, o ritmo e o tempo da produção de CT&I nem sempre são previsíveis. Por isso o Estado é um ator de peso no mundo todo. Não é à toa que os países avançados escolhem áreas científicas e definem tecnologias críticas a serem dominadas, alocando recursos públicos para impulsionar a inovação. Não há desenvolvimento tecnológico sem participação ativa do setor público.

Não há caminho fácil para alcançar um padrão de desenvolvimento econômico mais acelerado. O objetivo deste artigo é abordar os desafios em três aspectos especialmente relevantes para o Brasil: formação profissional para a inovação, ciência e inovação nas empresas.

Formação profissional para a inovação

O Brasil apresenta uma característica dual na escolaridade de seus cidadãos e, conseqüentemente, na formação da capacidade profissional e produtiva deles. De um lado, observa-se um avanço no processo de universalização da educação básica e uma expansão do acesso ao nível superior. De outro, a qualidade do ensino não tem acompanhado essa trajetória, permanecendo no mesmo patamar ou mesmo se reduzin-

do, a despeito da alocação de recursos financeiros satisfatórios.

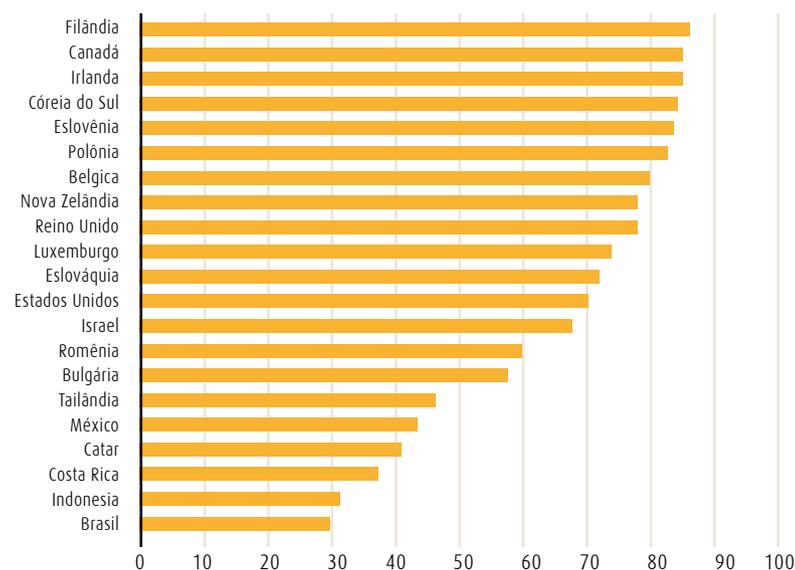
A educação básica brasileira, sobretudo a da rede pública, responsável por mais de 80% dos alunos,¹ apresenta níveis de qualidade reduzidos, que impactam profundamente as condições de desenvolvimento do capital humano requerido para gerar inovação e garantir um crescimento sustentável da produtividade. Indicadores como o do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes 2015 (PISA) ajudam a delinear esse quadro: 91% dos países avaliados apresentam desempenho em matemática superior ao do Brasil.²

O desempenho do Brasil em matemática, no PISA 2015, é aterrador: enquanto apenas 30% dos estudantes brasileiros obtiveram desempenho satisfatório, mais de 70% dos países que participaram do exame registraram pelo menos 50% de estudantes com desempe-

nhos satisfatórios (Figura 1). Esse resultado tem relação direta com as decisões tomadas pelos estudantes quando encerram o ciclo da educação básica. A decisão de seguir carreiras da área de humanidades ou outras não afeitas à matemática e às ciências exatas é mais comum entre os estudantes brasileiros, o que resulta num estoque insuficiente de profissionais em áreas fundamentais para os processos de invenção e inovação, como engenharias, física, química e tecnologias da informação, entre outras.

É usual argumentar que o pífio desempenho do país em exames de conhecimentos educacionais básicos deve-se à insuficiência de recursos. Mas os gastos públicos diretos com educação cresceram consistentemente ao longo dos anos, como proporção do Produto Interno Bruto (PIB), atingindo um patamar equivalente à norma internacional. Mesmo assim, o de-

Figura 1 | Distribuição percentual dos estudantes com desempenho adequado em matemática - PISA 2015



Fonte: Tafner (2018).

sempenho do Brasil tem sido inferior, inclusive, ao de países que gastam menos.³

A evolução das despesas foi acompanhada também de melhoras na infraestrutura física das escolas e em aspectos não financeiros, como a redução de superlotação das salas, por exemplo. Contrariando as expectativas, porém, esses avanços não se refletiram nem no desempenho dos estudantes nem na produtividade do trabalho.

Estudos como o de Hanushek (2013) indicam que a qualidade da educação e o treinamento da mão de obra são os fatores de maior impacto na produtividade e no crescimento econômico. Topel (1999), Glomm e Ravikumar (1992) e Benanou (1996), por sua vez, mostram que há transbordamento da educação para a produtividade e que esses efeitos estão mais associados à qualidade do que aos níveis médios de educação da população.

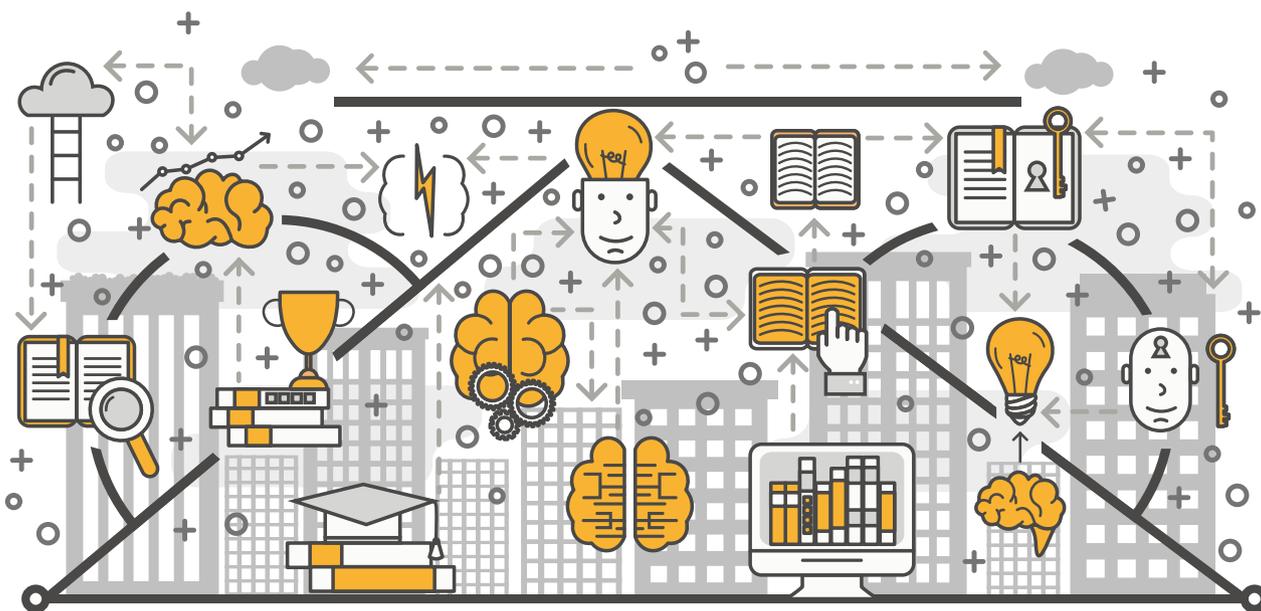
Trabalhadores mais educados conseguem transmitir efeitos decorrentes da sua escolaridade para

outros trabalhadores, por meio de estímulos que nascem da observação e da convivência. Contudo, esse efeito é limitado pelo grau de complexidade do processo produtivo e pelo *background* educacional dos indivíduos. Quando o processo envolve alto grau de complexidade tecnológica, o transbordamento só se torna possível se a mão de obra tiver um nível educacional propício para captar os estímulos de maneira relativamente homogênea, o que só ocorre quando ela dispõe de uma educação de maior qualidade.

A absorção de tecnologia em Taiwan, Finlândia, Cingapura, Coreia do Sul e alguns países bálticos, até bem recentemente, só se viabilizou pela qualidade da educação de seus cidadãos. Essa condição permitiu uma rápida evolução da produtividade e da complexidade dos processos produtivos, tendo sido sustentada por importantes reformas nas instituições e no ambiente de negócios. Embora não seja a única con-

dição para o desenvolvimento, capital humano qualificado é um fator crítico para que se possa absorver tecnologia.

Segundo dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2016, a taxa de escolarização da população de zero a dezessete anos aumentou nos últimos dez anos em praticamente todos os quintis de renda. Em uma década, a escolaridade média passou de 6,2 anos para 8,7 anos de estudo. Entretanto, não devemos nos deixar enganar pela evolução dos indicadores, pois a velocidade dessa trajetória ainda está distante da que seria ideal. Nesse ritmo, níveis de escolarização satisfatórios só seriam alcançados em cerca de meio século. Além disso, os indicadores que mensuram adequação idade-série e qualidade da educação não acompanharam o movimento positivo. Os brasileiros chegam a ter quase 30% menos anos de estudo concluídos em relação ao que é considerado ideal para a idade.



Esse diagnóstico evidencia que há empecilhos para construir uma base de capital humano preparada para mudanças tecnológicas aceleradas. O desenvolvimento de um perfil produtivo voltado para a inovação também parece comprometido por essa estrutura, que não contempla os domínios básicos para impulsionar o sistema nacional de inovação. Toda base produtiva se molda a essas restrições, o que leva a economia brasileira a convergir para uma realidade pouco competitiva.

O sistema de ensino superior no Brasil tem evoluído bastante nos últimos anos, acompanhando a tendência que se verifica em todos os países de desenvolvimento tardio. Há crescente demanda por profissionais qualificados e, conseqüentemente, expressivo aumento da demanda por formação em educação superior ou tecnológica. Mas o Brasil tem um histórico tardio de desenvolvimento das instituições acadêmicas e de políticas educacionais universais. As matrículas nos cursos de graduação, por exemplo, passaram de 3 milhões para 8 milhões entre 2001 e 2015, em grande parte como decorrência da expansão do setor privado, responsável por receber, nesse último ano, 76% do contingente de alunos matriculados, conforme dados do INEP compilados por Schwartzman (2018).

O ensino superior brasileiro é pouco diversificado. Nas universidades, predomina a oferta de cursos como educação, direito, administração e outros da área de ciências humanas, enquanto os cursos tecnológicos, as engenharias e outros na área de ciências exatas ou

Menos de 1/4 dos alunos matriculados em cursos superiores no Brasil estão imersos em ambientes que estimulam a inovação. A grande maioria não tem a oportunidade de integrar grupos de pesquisa.

ciências naturais aplicadas são oferecidos em menor escala. Isso não pode ser dissociado das características dessas instituições (sua natureza jurídica, forma de gestão de pessoas e recursos), tampouco da demanda dos alunos e do mercado de trabalho.

Em termos de produção de pesquisa científica, as universidades e os institutos de ensino superior públicos diferem claramente das universidades particulares. A maior parte da pesquisa básica e aplicada é realizada nas instituições públicas, que também são responsáveis por oferecer a maior parte dos cursos de pós-graduação. Assim, percebe-se uma grande discrepância entre a concentração do número de matrículas e o *locus* de realização de pesquisa e de geração de conhecimento novo no país. Menos de 1/4 dos alunos matriculados em cursos superiores estão expostos a uma atmosfera que estimula a novidade e a inovação, tendo a oportunidade de integrar grupos de pesquisa ou participar de atividades de desenvolvimento científico e tecnológico no ambiente acadêmico.

Em contraponto à estrutura dos cursos oferecidos nas universidades particulares, as universidades públicas concentram, em termos relativos, as formações associadas

a engenharias, ciências, matemática, computação, agricultura e veterinária. Essa condição pode gerar restrições profundas para o aumento do estoque de capital humano indispensável para o processo produtivo e de inovação.

Mesmo que de maneira não intencional, a sociedade brasileira construiu um processo de incentivo às carreiras típicas de Estado, criando uma cultura de interesse pelas carreiras públicas fortemente associadas a processos fiscalizatórios e administrativos. Há uma tendência a sufocar a iniciativa privada, tanto pelo excesso de regulação como pela assunção, pelo Estado, de responsabilidades próprias aos agentes privados.

O estoque de capital humano que poderia afluir para carreiras privadas ligadas a tecnologia e ciências aplicadas, mais promotoras de inovação e inventividade produtiva, ao se deparar com maior potencial de empregabilidade, remuneração e estabilidade no setor público, tende a preferir carreiras nesse segmento. Embora a área de estudos de engenharia, produção e construção tenha sinalizado um aumento na sua participação relativa recente, sobretudo em detrimento da área de humanidades e artes, não houve mudança substancial na distribuição entre as pes-

soas ocupadas por área de estudo e os cursos escolhidos pelos estudantes de nível superior no Brasil.

Também é importante chamar a atenção, especificamente, para o percentual de formados nas carreiras de engenharia e em outras carreiras técnico-científicas. As carreiras que compõem esse grupo abrangem os campos (*fields*) 4 e 5 da Classificação Internacional Normalizada da Educação 1997 (ISCED 97). A Figura 2, a seguir, oferece uma indicação inicial da relevância dessa informação no mundo.

Salerno *et al.* (2014) indicam uma correlação de quase 70% entre as variáveis de PIB *per capita* e participação de profissionais envolvidos em ciência e tecnologia na força de trabalho. Esses autores também realizaram um teste estatístico que busca retirar a influência de variáveis como grau de desenvolvimento, segurança do ambiente de negócios e outras características próprias de cada país. Eles obtiveram resultados significativamente positivos para a relação entre crescimento do PIB *per capita* e proporção de profissionais oriundos de engenharias e carreiras científico-tecnológicas no total da força de trabalho do país.

A associação entre a expansão da renda *per capita* e a inserção desses profissionais no processo produtivo está diretamente relacionada à capacidade de crescimento da economia no longo prazo. Pois são esses indivíduos que detêm o conhecimento necessário para implantar a inovação tecnológica, fator preponderante para o crescimento sustentável e a expansão da produtividade. O Brasil ocupa uma posição pior do que a de mui-

tos países, o que indica a sua incapacidade de expandir uma produção mais dinâmica e inovadora. Revela também que o país é pouco atrativo para investimentos internacionais em atividades produtivas mais nobres, que requerem o uso de mão de obra mais qualificada. Pouco competitivo nesse quesito, o Brasil tende a se afastar das cadeias globais de valor mais sofisticadas.

As áreas de engenharias e de ciências exatas e da terra, que correspondem basicamente às carreiras científico-tecnológicas, respondiam por quase 25% do total de matriculados na pós-graduação. Quando se incluem as áreas de ciências agrárias, biológicas e da saúde, que se destacam fortemente no âmbito produtivo e científico no país, esses percentuais alcançam 53,4% do total de pós-graduandos.

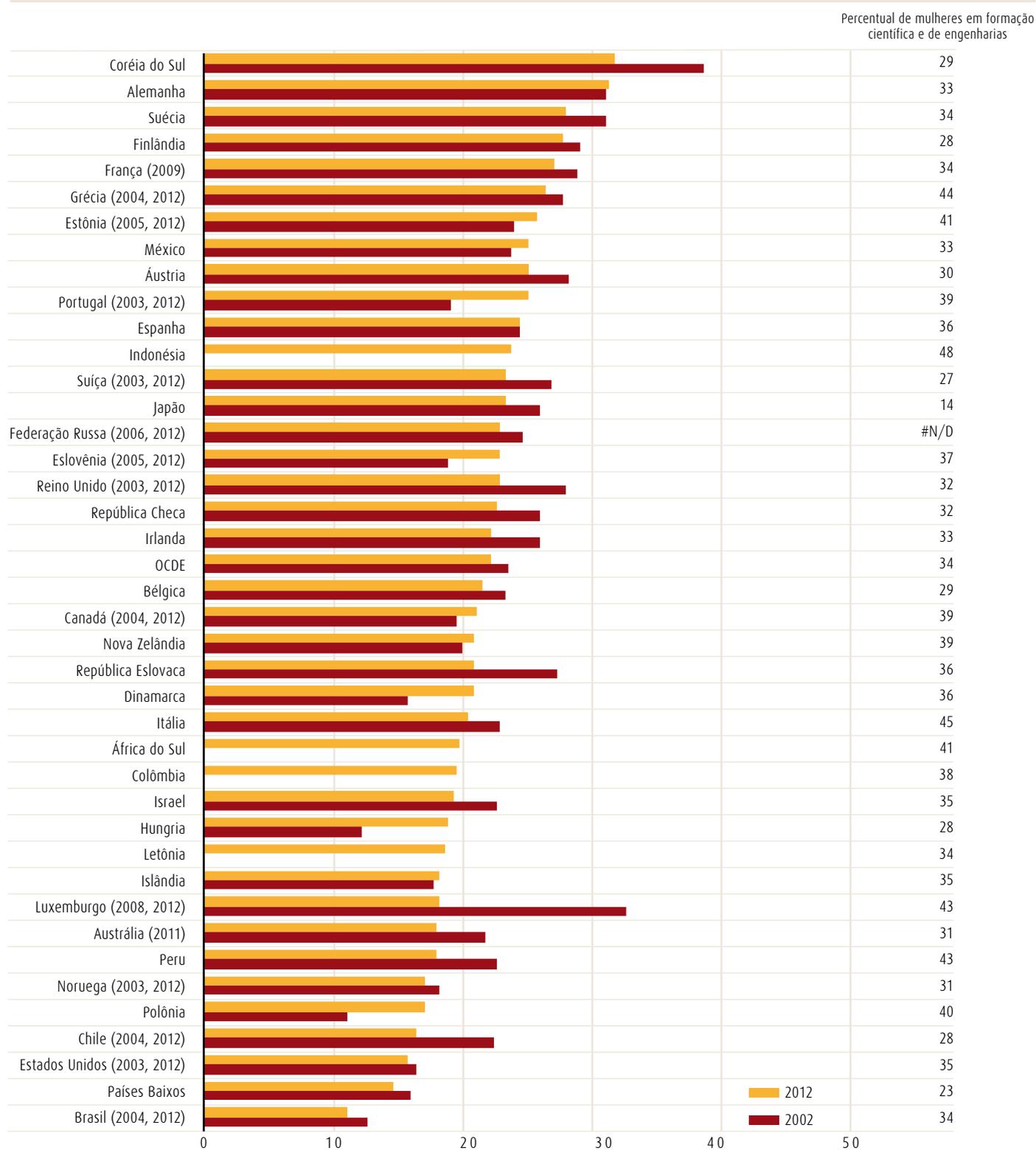
A expansão do número de pós-graduados influencia também a produção acadêmica. As publicações de autores brasileiros em revistas internacionais passaram de 8,6 mil em 1996 para 62 mil em 2009. Esse número equivale a 53% do total registrado para o conjunto da América Latina e a 2,5% de todas as publicações em revistas internacionais do mundo. Por outro lado, o número de citações de artigos escritos por brasileiros na literatura internacional caiu de 29 para 8,3 entre 2000 e 2010, sugerindo uma queda significativa na relevância das publicações.

Identifica-se, ainda, relativa dispersão e pouco foco na produção científica brasileira. Dados de 2016 do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC) mostram que

200 mil pesquisadores de 37 mil grupos de pesquisa em 531 instituições receberam recursos para desenvolver pesquisas. Grande parte desses aportes serviu para pagar salários e bolsas de estudo. Há uma dificuldade de direcionar investimentos para laboratórios focados em atividades de fronteira tecnológica e poucos recursos dirigidos para o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor produtivo. Diversos indicadores revelam essa situação. Chama a atenção, em particular, o reduzido número de patentes registradas e o fato de que a maioria dos doutores trabalha nas universidades públicas, o que demonstra o baixo vínculo da produção científica com o setor produtivo brasileiro.

Ciência no Brasil

A produção de conhecimento depende da existência de um extenso e moderno parque de pesquisa científica e tecnológica, sem o qual não se atingem os requisitos necessários para o desenvolvimento econômico e produtivo. Grande parte dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) realizados no mundo é oriunda de universidades e instituições públicas. No Brasil, o setor público foi responsável por quase metade dos recursos aplicados nas atividades de P&D em 2014, ano em que foram realizados os maiores investimentos das últimas décadas, equivalentes a 1,27% do PIB.⁴ A despeito dos esforços para induzir investimentos empresariais, a proporção do setor público nos investimentos em P&D tem se mantido estável ao longo dos anos.

Figura 2 | Percentual de formados em engenharia e outras carreiras técnico-científicas no total de formados, 2002 e 2012

Fonte: OCDE, disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/888933273567>. Acesso em: 05/10/2018

Trabalho conduzido por De Negri e Squeff (2016), com dados obtidos em 2012, demonstra que 56% das infraestruturas de pesquisa representativas no país tinham menos de vinte anos, e mais de 70% das unidades investigadas tinham obtido recursos significativos para investimentos há menos de cinco anos. A distribuição espacial dessas infraestruturas coincide com as regiões de maior dinamismo econômico do país, localizando-se 57% delas no Sudeste e 23% no Sul. A área física dessas unidades nas duas principais regiões econômicas soma 87% da área física total das infraestruturas envolvidas no levantamento.

As infraestruturas concentram-se nas áreas de engenharias e ciências exatas e da terra, que respondem por 57% dos laboratórios e de outros centros de investigação existentes no país. Esse dado reflete

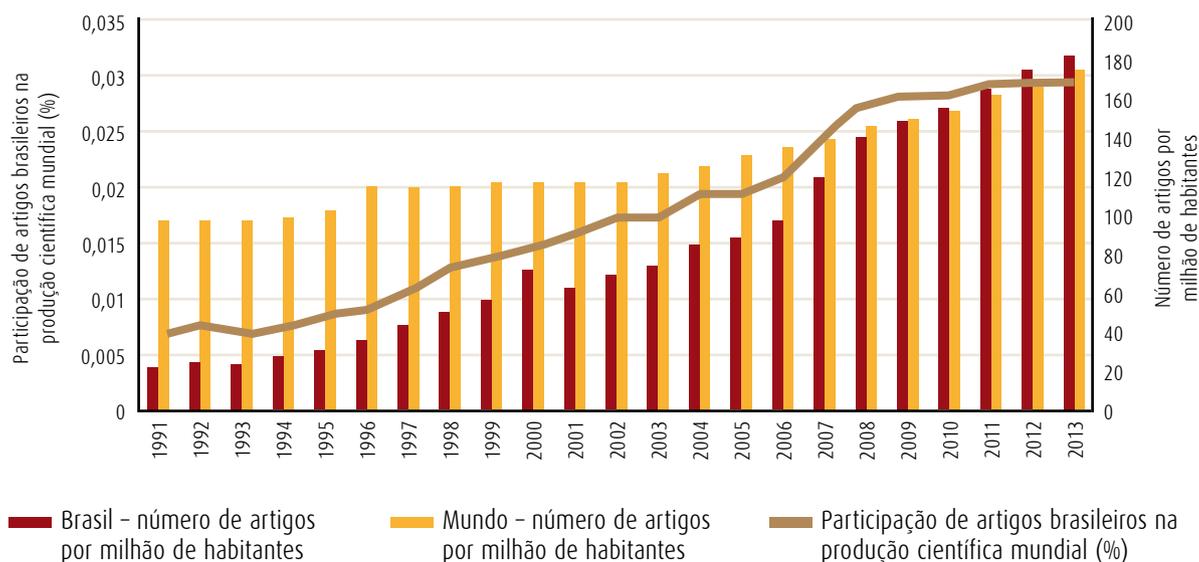
um descasamento entre a formação de mão de obra científica e a infraestrutura disponível para a realização das atividades científicas e de pesquisa. Apenas 25% dos matriculados e titulados na pós-graduação são provenientes dessas áreas. A infraestrutura voltada para ciências da saúde, por sua vez, representa apenas 6,87% das infraestruturas de pesquisa, embora esta seja a área mais fértil na publicação de artigos científicos no Brasil.

De forma geral, a percepção dos coordenadores das infraestruturas disponíveis é que o número de pesquisadores e sua formação ainda são pouco adequados às necessidades do país. Em média, há apenas quatro pesquisadores por laboratório. O número de usuários externos atendidos pelas infraestruturas também é baixo, predominando o atendimento voltado para alunos de pós-graduação.

Apesar das inadequações e ineficiências, os investimentos têm produzido resultados crescentes e consistentes quando se observam as métricas de avaliação da produção científica. A produção científica brasileira mudou de patamar entre 1991 e 2013, passando de uma participação equivalente a 0,7% da produção científica internacional para um percentual muito próximo de 3%. O número de artigos por milhão de habitantes, a partir de 2010, superou a média mundial, o que corrobora essa percepção (Figura 3).

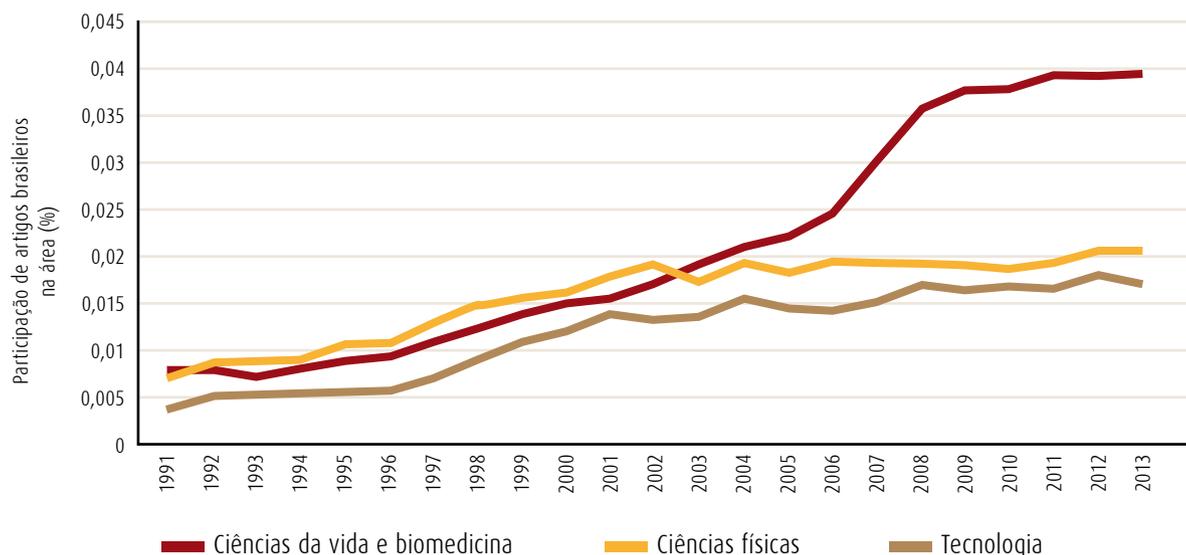
Essa trajetória decorre do aumento no número de publicações nas áreas de ciências da vida e biomedicina, ciências físicas e tecnologia durante a década de 1990. Houve também um crescimento do número de artigos em ciências da vida e biomedicina na década de 2000 (Figura 4).

Figura 3 | Número de artigos por milhão de habitantes (Brasil e mundo) e participação na produção científica mundial (Brasil) - 1991 a 2013



Fuente: Meyer (2016), ISI/Web of Science e World Development Indicators.

Figura 4 | Participação na produção científica mundial, por campo do conhecimento do ISI/Web of Science – Brasil (1991 a 2013)



Fonte: Meyer (2016), ISI/Web of Science e World Development Indicators.

Apesar do salto quantitativo no número de publicações brasileiras, a relevância delas pareceu seguir uma direção contrária. Considerando-se o conjunto de artigos publicados, o *ranking* de citações evidencia que o país passou da 15ª posição em 1991 para a 24ª posição em 2013. Restringindo-se as evidências apenas aos artigos das áreas de ciências da vida e biomedicina, nas quais o Brasil possui destaque mundial, a posição no *ranking* de citações passou de 12ª para 21ª entre 1991 e 2013.

Zago (2011) alerta para o fato de que é necessário alterar os padrões de gestão da produção científica e tecnológica para que haja novos saltos quantitativos e qualitativos. A otimização da infraestrutura instalada e o fomento a redes com visibilidade internacional, por meio de incentivos ao desenvolvimento de novos produtos

e processos tecnológicos, são ações decisivas.

A despeito dos saldos positivos em infraestrutura e produção científica e do resultado ambíguo em termos de qualidade da ciência, ainda existe um nó que prejudica o desenvolvimento científico e tecnológico do país. Há uma crescente preocupação em expandir as conexões entre a produção científica e o setor produtivo, mas os últimos anos foram marcados pela dissociação entre essas duas dimensões. Por um lado, a publicação de artigos brasileiros em periódicos internacionais indexados ao Institute for Scientific Information (ISI) alcançou o patamar de 250 artigos por milhão de habitantes, equivalentes a quase 3% do total mundial. Por outro, a participação do país nas concessões de patentes do United States Patent and Trademark Office (USPTO) é de apenas 0,1%

O encolhimento da indústria e a ausência de um setor de serviços de alta intensidade tecnológica desestimulam a inovação.

do total mundial. Esses números evidenciam um indesejável desca- samento, que precisa ser solucio- nado, entre a produção científica e a produção tecnológica.

Aparentemente, em todos esses casos as instituições públicas de pesquisa, ao serem criadas, foram orientadas para uma comunidade de usuários e/ou desenhadas para resolver problemas relevantes de determinados setores de atividade (Mazzoleni e Nelson, 2005). A existência de demandas claramen- te definidas por parte do setor pro- dutivo parece ter contribuído pa- ra que essas iniciativas superassem o “baixo grau de indução” das po- líticas de ciência, tecnologia e ino- vação (CT&I), conforme identifi- cado por Guimarães (2002; 2006).

Um dos grandes diferenciais de países desenvolvidos, como os Estados Unidos, é que o investi- mento público em P&D tem co- mo objetivo resolver problemas concretos da sociedade. Já no Bra- sil, o fomento à ciência constitui um fim em si. Um bom indicador para avaliar os investimentos pú- blicos de um país é mensurar quan-

to desses valores são aplicados em atividades orientadas por resulta- dos (*mission oriented*). Quando os valores são aplicados em ministé- rios específicos, como Energia, Saúde e Defesa, os recursos tendem a sustentar atividades de P&D que se voltam para problemas es- pecíficos. A aplicação em ministé- rios horizontais, como Educação e Ciência e Tecnologia (C&T), por sua vez, tende a fomentar ati- vidades mais genéricas e com re- sultados difusos.

A maior parte de P&D públi- cos no Brasil não é orientada a re- sultados. Somente 30% dos recur- sos são aplicados em ministérios com missões específicas, percentual que atinge 90% no caso nor- te-americano (Figura 5).

A ciência brasileira também po- de promover inovações de maior conteúdo tecnológico no mercado, apoiando-se em ajustes no ambien- te de negócios no Brasil. Para isso, é importante consolidar e acom- panhar uma agenda de mudanças nesse ambiente, identificando as principais normas e regulamentos a serem aprimorados, de modo a

construir uma atmosfera mais ami- gável para empresas e cientistas. É necessário observar a legislação e investigar o funcionamento das instituições, identificando altera- ções voltadas para desburocratizar, eliminar inseguranças jurídicas e garantir tratamento diferenciado para as atividades de C&T. Em áreas como as de ciências da vida, a lei da biodiversidade deve ser acompanhada e modernizada com frequência. Da mesma forma, pa- ra assegurar atualizações adequadas é relevante acompanhar a implan- tação e regulação do código na- cional de C&T.

Inovação tecnológica nas empresas

Nos últimos vinte anos, o Brasil contou com um conjunto de po- líticas públicas industriais ativas. No contexto da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Ex- terior (PITCE), lançada em 2003, foram promulgadas a Lei de Ino- vação e a Lei do Bem (Lei nº 11.196/05), que deram os primei- ros passos para modernizar o ar- cabouço jurídico do ambiente de inovação tecnológica brasileiro. Após a PITCE, duas novas políti- cas industriais foram editadas: a Política de Desenvolvimento Pro- dutivo (PDP), em 2008, e o Plano Brasil Maior (PBM), em 2010. Adicionalmente, em 2009 foi cria- do o Plano de Sustentação do In- vestimento (PSI), enquanto em 2013 foi lançada a principal ini- ciativa de inovação tecnológica da história do país: o Plano Inova Empresa.

Mesmo dispondo dos novos instrumentos originados a partir

Figura 5 | Distribuição do investimento público federal em P&D, Brasil e Estados Unidos - 2015

Ministérios brasileiros	Percentual do total	Departamentos e agências norte americanas	Percentual do total
MEC	35,8	Defesa (DoD)	47,9
MCTIC	32,9	Saúde (HHS)	21,9
Agricultura	17,5	Energia (DoE)	10,4
Saúde	10,1	NASA	8,3
Defesa	1,3	Fundação Nacional de Ciências (NSF)	4,3
Comunicações	1,2	Agricultura (USDA)	1,8
Outros	1,2	Outros	5,4

Fonte: De Negri; Rauen, Squeff (2017).

da Lei de Inovação e da Lei do Bem e de maiores volumes de recursos alocados nos Fundos Setoriais (criados em 1998), a atuação do setor financeiro público em favor da inovação teve como principal ator a FINEP, que apoiou, entre 1998 e 2012, pouco mais de mil empresas. O BNDES também executou ações e programas de apoio à inovação.

Atualmente, o país dispõe de inúmeros instrumentos de fomento a atividades de inovação tecnológica que também são oferecidos na maior parte dos países desenvolvidos: crédito subsidiado, incentivos fiscais, subvenção para empresas, subvenção para projetos de pesquisa em universidades e ICTs, entre outros. A Figura 6 sintetiza as principais intervenções públicas para estimular a inovação tecnológica no país.

Essas são as principais fontes de recursos para suporte à inovação e à P&D no Brasil, independentemente de sua origem. No entanto, são iniciativas apenas pelo lado da oferta e/ou produção. Muitos dos recursos são estritamente públicos, enquanto outros não são recursos orçamentários, tendo origem em fundos para-fiscais ou outras fontes. A tabela não mostra outros subsídios indiretos, implícitos ou explícitos, como a equalização de taxas de juros ou o diferencial do custo de captação dos recursos, além da taxa cobrada ao agente final para operação de programas pela FINEP e pelo BNDES.

De acordo com as estatísticas da Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2014, observa-se que, entre 2003 e 2014,

cresceu de 19% para mais de 40% o total de empresas que declararam ter recebido algum suporte público para inovar. Esse resultado já inclui os primeiros sinais decorrentes das políticas executadas pelo Inova Empresa. Apesar disso, a maior parte do apoio público para a inovação nas empresas esteve associado ao financiamento da compra de máquinas e equipamentos. No conceito de inovação do Manual de Oslo, a aquisição de maquinaria produtiva mais moderna e sofisticada, em substituição à maquinaria ultrapassada, constitui inovação de processo. Cerca de 75% das empresas que receberam apoio público para inovar realizaram atualização em processos. Considerando os aportes públicos voltados especificamente para inovação, em sentido estrito, o número de beneficiárias também

Figura 6 | Principais políticas ou instrumentos federais de apoio à tecnologia e à inovação produtiva no Brasil, 2015 (ou último ano disponível)

Políticas	Instrumentos	Valores em reais correntes de 2015
Isenção fiscal ⁽¹⁾	Lei de informática (Leis nº 8.248/1991, nº 10.176/2001 e nº Lei 11.077/04)	5.020.550.362
	Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005)	1.826.446.366
	Gastos empresariais em P&D (Lei nº 4.506/64 e Decreto nº 756/69)	1.317.415.079
	PD&I no setor automotivo (Lei nº 12.715/12 e Decreto nº 7.819/12)	646.081.930
	Outras isenções ⁽²⁾	818.355.571
Crédito subsidiado para a inovação (desembolsos)	Operado pela FINEP	2.603.000.000
	Operado pelo BNDES ⁽³⁾	4.501.000.000
P&D obrigatório de setores regulados	P&D ANEEL	395.200,00 ⁽⁴⁾
	P&D ANP	1.030.956.397

(1) Estimativas feitas pela Receita Federal do Brasil. Disponível em: https://idg.receita.fazenda.gov.br/dados/receitadata/renuncia-fiscal/demonstrativos-dos-gastos-tributarios/dgt-versao-para-republicacao_02-06-2016.pdf. Acesso em: 23/11/2016. (2) Entidades científicas sem fins lucrativos, máquinas e equipamentos - CNPQ, PADIS, PATVD, pesquisas científicas - AFRMM e TI e TIC. (3) Excluídos os valores repassados para a FINEP. (4) Dados de 2012 extraídos de CGEE (2015).

Fonte: De Negri; Rauen; Squeff (2017).



aumenta, mas em proporção muito menor. Neste caso, segundo dados da PINTEC, o número de empresas passou de 4,6% em 2003 para 8,6% em 2014.

O investimento oriundo de recursos das próprias empresas ou de instituições de fomento à inovação e à tecnologia produtiva privada não se revela muito animador. Os dados demonstram que o investimento empresarial em P&D apresentou queda na PINTEC de 2011 em relação à PINTEC de 2008 (a primeira abarca os anos subsequentes à crise econômica internacional que eclodiu em 2008), exibindo, na PINTEC de 2014, uma ligeira recuperação em relação a 2008. Esse dado, contudo, precisa ser relativizado, pois a última edição da PINTEC foi influenciada por um evento *outlier* de choque de investimentos no setor de telecomunicações para a expansão da malha 4G, em decorrência dos jogos da Copa do Mundo realizada no Brasil. Se não fosse esse evento, estimativas de De Negri, Zucoloto, Squeff e Rauen (2016) indicam que, em 2014, o investimento em P&D teria sido de apenas 0,54% do PIB, o que

representa uma queda em relação aos 0,59% registrados em 2011.

Parte da explicação para a persistência do acanhado patamar de investimentos em P&D está na redução contínua da participação da indústria no PIB e na ausência de indícios de fortalecimento do setor de serviços de mais alta intensidade tecnológica (a indústria ainda é responsável por cerca de 80% dos investimentos em P&D no país). Outro fator explicativo é a composição da pauta brasileira de exportações, que ao longo dos anos tem se deslocado de uma estrutura de maior intensidade tecnológica para outra de menor intensidade.⁵

Grande parte das inovações introduzidas pelos negócios brasileiros envolve a comercialização de tecnologias já existentes, mas que são novas para a firma ou para o mercado nacional. No mercado brasileiro, a concorrência é baixa e os bens são padronizados. Por isso, as inovações não exploram fortemente os potenciais de diferenciação de produto para ganhar margens e *market-share*. As empresas buscam ampliar suas margens por meio de esforços para re-

duzir os custos via inovação de processo. No Brasil, as inovações de processo são mais frequentes que as inovações de produto.

Apesar de cerca de 20% das empresas apresentarem introdução de produto e aproximadamente 30% apresentarem inovação de processo, esse tipo de inovação é predominantemente para a firma, não tendo um caráter novo para o mercado nacional ou mundial. Quando analisados os números de inovação para o mercado nacional, esse percentual cai a cerca de 10% do total de empresas inovadoras, o que representa menos de 5% das empresas industriais e de serviços investigadas pela PINTEC.

Mesmo quando se consideram as inovações para a empresa, a introdução de novos produtos e processos não necessariamente representa aprimoramentos significativos. Seguindo as orientações do Manual de Oslo, o conceito de inovação usado pela PINTEC é amplo, englobando, inclusive, a introdução de máquinas e equipamentos de última geração no sistema produtivo. Assim, caso uma empresa modernize seu parque fabril, esse esforço é contabi-

lizado como inovação de processo, ainda que seja mantida a produção dos mesmos bens, usando o mesmo tipo de insumos.

As taxas de inovação das empresas pesquisadas pela PINTEC não têm apresentado grandes avanços, rondando entre 31% e 36% ao longo de todo o período em análise, com exceção de 2008, quando atingiu a marca de quase 39%. Nos anos de 2006 a 2008, que precederam a crise internacional, a atividade econômica no Brasil registrou um acelerado crescimento, exibindo uma taxa média superior a 4% a.a. Entre a edição de 2008 e a edição mais recente da PINTEC, contudo, a taxa de inovação decresceu de 38,61% para 35,99%. Quando considerados apenas os dados da indústria, a amplitude da queda foi ligeiramente menor: de 38,1%, entre 2006-2008, para 36,4%, entre 2012-2014.

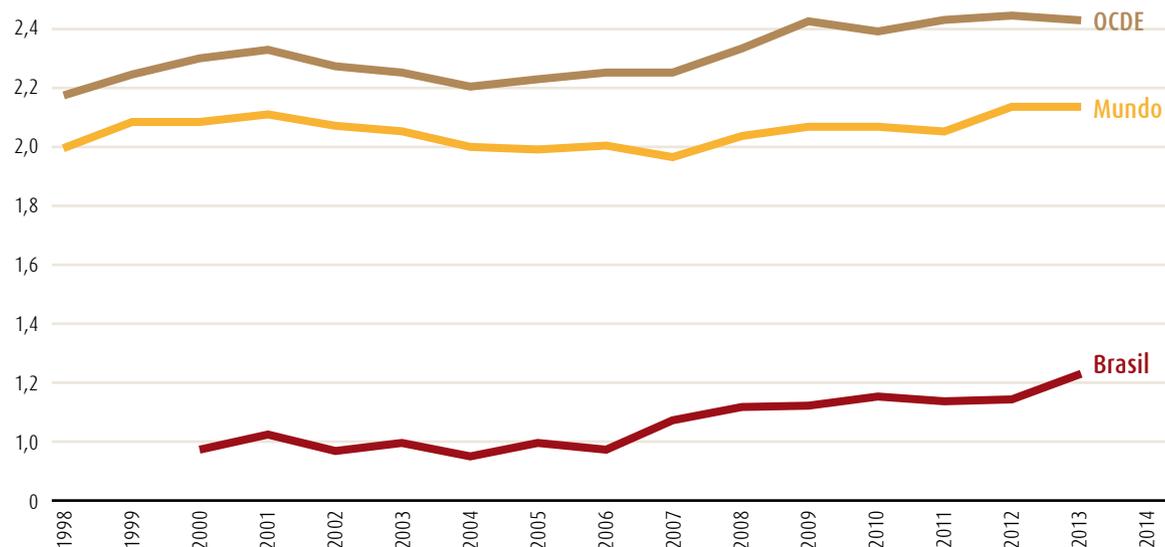
Além disso, as empresas brasileiras que mais investem em intangíveis de inovação e aprimoramento tecnológico ainda estão em patamares mais baixos que os de suas congêneres em países desenvolvidos. O gasto com ativos intangíveis das firmas brasileiras situou-se em torno de 4% entre 2000 e 2008, número bastante inferior ao de países como Japão, Reino Unido e Estados Unidos, similar ao de países como Itália e Espanha. O diferencial do investimento em ativos intangíveis entre firmas brasileiras e norte-americanas é maior em competências como P&D, governança empresarial e valor de marca. As firmas norte-americanas gastam até dez vezes mais com governança, três vezes mais com valor de marca e quatro vezes mais com P&D. De acordo com Dutz *et al.* (2012), o diferencial com as economias da Organização para Cooperação e Desenvolvimento

Econômico (OCDE) também é grande para outros tipos de ativos inovativos não tecnológicos, em particular gastos com *design* de arquitetura e engenharia.

O investimento em P&D cresce no Brasil em taxas inferiores às dos países avançados e num ritmo menor do que a média mundial. No entanto, nos últimos anos passou por um processo de expansão, cuja análise requer algum cuidado. Embora a base agregada de dispêndios tenha registrado certa elevação, a expansão do índice não pode ser integralmente atribuída a uma aceleração do aumento dos dispêndios em atividades inovativas, pois o PIB permaneceu estagnado ou decresceu.

Em valores nominais, os gastos em P&D no Brasil têm aumentado consistentemente. Quando comparados com as receitas das empresas, tais gastos também têm apresentado significativa expansão,

Figura 7 | Investimento em pesquisa e desenvolvimento como percentual do PIB, 1998-2014 - Brasil comparado com a OCDE e o mundo



Fonte: Banco Mundial. Disponível em: goo.gl/GeQHvh. Acesso em 05/10/2018.

aumentando 36,59% no período 2000–2014 e passando de 0,75% para 1,03% da receita líquida das empresas. Mas essa relação é decrescente se considerarmos os gastos totais com atividades inovativas. Os gastos com outras atividades desse tipo, não diretamente aplicadas a P&D, decaíram de 3,09% para 1,46% da receita das empresas entre 2000 e 2014. Com isso, os gastos totais com atividades inovativas (incluindo os gastos com P&D interno e externo) em relação à receita líquida das empresas caíram de 3,84% para 2,49% nos catorze anos abrangidos pela PINTEC.

Para ganharem competitividade de no longo prazo, as empresas precisam desenvolver capacidade para gerar inovação tecnológica de fronteira. Adotar conhecimento existente não é uma ação suficiente para produzir ganhos consistentes de produtividade. Tanto a incorporação de tecnologia desenvolvida por outros quanto a geração de tecnologia própria de fronteira requerem certo grau de desenvolvimento do capital humano, assim como competências de infraestrutura e aprendizado acumulado. Em grande medida, isso decorre de processos sistemáticos de inovação e de atividades de P&D.

Embora o Brasil tenha ampliado o nível de gastos com atividades de P&D nos últimos anos, ainda estamos muito atrás de países de fronteira. Fomos ultrapassados por países que recentemente estavam em patamares inferiores ou que partiram de um nível de desenvolvimento equivalente ao nosso no século XX. Esse aumento dos gastos com P&D decorreu, sobretudo, da expansão de gastos

públicos, incluindo recursos voltados para universidades, institutos públicos de pesquisa e tecnologia, capacitação de capital humano e criação de infraestrutura para pesquisa. Como resultado, a taxa de pesquisadores ocupados em P&D tem apresentado uma tendência de crescimento, aparentemente em um ritmo maior que o da taxa de crescimento dos dispêndios em atividades inovativas.

Em termos de investimento empresarial privado em P&D, o Brasil está muito aquém da média dos países mais desenvolvidos. Neste grupo, a proporção de investimento privados no total de gastos em P&D rondava 70% em 2014. Enquanto isso, no Brasil essa mesma proporção situava-se em torno de 40%, nível inferior aos 44% registrados em 2000. Portanto, grande parte da expansão dos recursos em P&D e atividades inovativas observada no Brasil nos últimos anos foram decorrentes dos investimentos públicos.

Reflexões sobre o ambiente de inovação

O país tem empreendido esforços crescentes em favor da inovação, mas os resultados não têm sido proporcionais aos estímulos. Algumas estratégias têm se mostrado exitosas, sobretudo em setores como a agricultura – que contou com fortes incentivos e recursos públicos no desenvolvimento de tecnologias – e em indústrias estratégicas, como aeronáutica e de energias renováveis. Além disso, houve consideráveis melhoras em treinamento e desenvolvimento de recursos humanos em C&T. A despeito des-

sas experiências, o setor privado brasileiro ainda não se insere adequadamente num processo sistemático de inovação e transformação tecnológica. A intensidade de P&D e a taxa de adoção de tecnologias pelas empresas brasileiras ainda estão muito aquém dos níveis considerados satisfatórios no ambiente mundial contemporâneo.

Nos últimos anos, o apoio público para a CT&I cresceu. Entretanto, o investimento público em C&T no Brasil, sobretudo em universidades e outras entidades públicas, é até oito vezes maior que os recursos destinados para inovação nas empresas privadas. Ainda assim, diferentemente da Coreia do Sul, por exemplo, cujo processo desde o início se baseou num sistema de movimentação de longo prazo da responsabilidade pública para a particular, há um limitado aproveitamento do desenvolvimento tecnológico realizado pelos entes públicos. É frágil o sistema de transbordamento e interconexão entre esses agentes e a iniciativa privada.

Ao lado dessas características relacionadas aos agentes do sistema de CT&I no país, também há aspectos exógenos, relacionados com questões regulatórias e de gestão. Entre todos os aspectos impeditivos do desenvolvimento do sistema de CT&I nacional, cinco merecem particular atenção: (i) regulamentação e ambiente de negócios; (ii) pesquisa científica pública e colaboração com P&D do setor privado; (iii) efetividade de inovação realizada pelas firmas; (iv) coordenação de políticas públicas; (v) avaliação e revisão de políticas públicas. ■

Notas

1. INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. Sinopse Estatística da Educação Básica 2016. Brasília: Inep, 2017. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>>. Acesso em: 05/10/2018.
2. Brasil assumiu a 67ª posição no ranking com 72 países participantes na edição PISA 2015.
3. Segundo Dados da OCDE, em 2013, o Brasil gastava 4,1% do PIB com a educação e seu ranking no PISA 2015 em matemática foi de 67º, enquanto México (3,9%), Polônia (3,4%), Chile (3,1%), gastavam menos que o Brasil em educação co-
- mo proporção do PIB e suas posições no ranking PISA 2015 para matemática foram 57º, 49º e 17º, respectivamente. Dados disponíveis em: <https://data.oecd.org/eduresource/public-spending-on-education.htm#indicator-chart> Acesso em: 05/10/2018
4. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/recursos_aplicados/indicadores_consolidados/2_1_3.html. Acesso em: 01/10/2018.
5. Dados pormenorizados sobre a realidade da inovação tecnológica, P&D e outros aspectos da estrutura produtiva brasileira são apresentados mais adiante.

Referências bibliográficas

- ALBUQUERQUE, E. “Immature systems of innovation: introductory notes about a comparison between South Africa, India, Mexico and Brazil based on science and technology statistics”. In: *Globelics Conference: Innovation Systems and Development Strategies for the Third Millennium, 1, 2003, Rio de Janeiro. Anais...* Rio de Janeiro: Globelics, 2003.
- ALEM, A.C.; CAVALCANTI, C.E.S. “BNDES e o apoio à internacionalização das empresas brasileiras: algumas reflexões”. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 24, 2005.
- ARAÚJO, B. C.; RAUEN, A. T.; ZUCOLOTO, G. “Impactos da suspensão dos incentivos fiscais previstos pela Lei do Bem sobre o investimento privado em PD&I”. *Radar*, n. 44. Brasília: Ipea, 2016.
- ARCURI, M. *Políticas de CT&I e financiamento público à infraestrutura de C&T: comparações internacionais e mapeamento da infraestrutura nacional*. Ipea, 2016.
- ATSUMI, S.; VILLELA, L.; FREITAS, J. “Estratégias de internacionalização de empresas brasileiras: o processo de investimento externo direto”. Encontro de Estudos em Estratégia-3Es/Anpad, 2007.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. “Capitais brasileiros no exterior, 2016”. Disponível em: <http://www4.bcb.gov.br/rex/CBE/Port/ResultadoCBE2015p.pdf> Acesso em: 05/10/2017.
- BARROS, R.; MENDONÇA, R. “O impacto de três inovações institucionais na educação brasileira”. *Texto de Discussão* nº 566. Ipea. Rio de Janeiro. 1998
- BENABOU, R. “Heterogeneity, Stratification, and Growth: Macroeconomic Implications of Community Structure and School Finance”, *American Economic Review* 86:584-609, 1996
- BÉNASSY-QUÉRÉ, A. ; COUPET, M.; MAYER, T. “Institutional determinants of foreign direct investment”. *The World Economy*, v. 30, n. 5, p. 764-782, 2007.
- BLONIGEN, B. A. “A review of the empirical literature on FDI determinants”. *Atlantic Economic Journal*, v. 33, n. 4, p. 383-403, 2005.
- BNDES. *Relatório Anual 2015*. Rio de Janeiro, 2016.
- CANTWELL, J. “Location and the Multinational Enterprise”. *Journal of International Business Studies*, v. 40, n. 1, p. 35-41, 2009.
- CANUTO, O. FLEISCHHAKER, C. e SCHELLEKENS, P. “O curioso caso da falta de abertura do Brasil ao comércio”. *Revista Brasileira de Comércio Exterior*, n. 122 - Janeiro/Março de 2015. Rio de Janeiro, Funcex.
- CASEIRO, L.C.Z. “Novas estratégias de internacionalização de empresas brasileiras: expansão geográfica, determinantes e alternativas de política industrial”. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2013.
- CASTRO, C.; SOARES, G.. 1986. “As avaliações da Capes”. In: *Pesquisa universitária em questão*, Simon Schwartzman e Cláudio de Moura Castro (orgs), 173-229. São Paulo: Editora da Unicamp.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. “Sugestões de aprimoramento ao modelo de fomento à PD&I do setor elétrico brasileiro: programa de P&D regulado pela Aneel”. Brasília: CGEE, 2015.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. “Internacionalização das empresas Brasileiras: motivações, barreiras e demandas de políticas públicas”. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, 2012.
- DEMIRHAN, E. “Determinants of Foreign Direct Investment Flows to Developing Countries: a Cross-Sectional analysis”. *Prague Economic Papers*, v. 4, n. 4, p. 356-369, 2008.
- DA SILVA, D.P.R. O governo brasileiro e a internacionalização de empresas”. *Conjuntura Internacional*. Cenários PUC Minas. Texto informativo. disponível em: http://www.pucminas.br/imagedb/conjuntura/CNO_ARQ_NOTIC20100920143702.pdf

- DE NEGRI, J. A.; SALERNO, M. *Inovações, padrões tecnológicos e desempenho das firmas industriais brasileiras*. 2005.
- DE NEGRI, J. A. et al. “Financiamento do desenvolvimento”. In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Orgs.). *Desafios da Nação: artigos de apoio*. Brasília: Ipea, 2018.
- DE NEGRI, F. “Inovação e produtividade: por uma renovada agenda de políticas públicas”. *Boletim Radar* n. 42. Brasília: IPEA, 2015.
- DE NEGRI, F. “Por uma nova geração de políticas de inovação no Brasil”. In: Turchi, L. e J. M. Morais (orgs.). *Políticas de apoio à inovação tecnológica no Brasil: avanços recentes e desafios para o futuro*. Brasília: Ipea, 2017.
- DE NEGRI, F.; ZUCOLOTO, G.; SQUEFF, F.; RAUEN, A. T. “Inovação no Brasil: crescimento marginal no período recente: análise dos dados da PINTEC 2014”. *Nota Técnica Diset*, n. 34. Brasília: Ipea. 2016.
- DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L.R. *Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes*. v. 1. Brasília: ABDI/IPEA, 2014.
- DE NEGRI, J. A.; CAVALCANTE, E.J. *A importância do apoio à internacionalização de empresas brasileiras*. CNI. 2016.
- DE NEGRI, F.; SQUEFF, F.H.S. *Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil*. Brasília: Ipea, 2016.
- DE NEGRI, F.; RAUEN, A. T.; SQUEFF, F. H. “Ciência, inovação e produtividade: por uma nova geração de políticas públicas”. In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (orgs.). *Desafios da nação: artigos de apoio*. Brasília: Ipea, 2018.
- DUTZ, M. A., KANNEBLEY, S., SCARPELLI, M.; SHARMA, S. *Measuring Intangible Assets in an Emerging Market Economy: An Application to Brazil*. 2012
- FAZAL, S.; SAZALI, A.W. *A Review on Technology Transfer in Context of Multinational Corporations*. 2014.
- FERMAN, B. “Cotas no processo de admissão de universidades: efeitos sobre a proficiência de alunos do ensino médio”. Tese de Mestrado, Departamento de Economia, Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2006
- FINEP. *Relatório de gestão do exercício 2015*. Rio de Janeiro, maio de 2016.
- GLOMM, G.; RAVIKUMAR, B. “Public vs. Private Investment in Human Capital: Endogenous Growth and Income Inequality”, *Journal of Political Economy*, 100:818-834, 1992
- GOMES, D. M. “Escassez de crédito bancário no Brasil: comparação internacional e evidência recente”. Abr. 2009.
- GOLDFAJN, I. “Painel projeto spread bancário”. Brasília, 2017.
- GUSSO, D.A.; NASCIMENTO, P. A. Meyer M. “Evolução da formação de engenheiros e profissionais técnico-científicos no Brasil entre 2000 e 2012”. Texto para discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2014.
- HANUSHEK, E. *Economic Growth in Developing Countries: The Role of Human Capital*. Stanford University. 2013.
- HILAL, A.; HEMAIS, C. A. “O processo de internacionalização na óptica da escola nórdica: evidências empíricas em empresas brasileiras”. *Revista de Administração Contemporânea*, v. 7, n. 1, p. 109-124, 2003.
- HIRATUKA, C.; SARTI, F. “Investimento direto e internacionalização de empresas brasileiros no período recente”. Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2011.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC)”, Rio de Janeiro.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. “Pesquisa de Inovação: 2014”. Rio de Janeiro: Coordenação de Indústria. 2016.
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. “Sinopse Estatística da Educação Básica 2016”. Brasília: Inep, 2017. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>>. Acesso em: 05/10/2017.
- KOELLER, P.; VIOTTI, R.; RAUEN, A T. “Dispêndios do governo federal em C&T e P&D: esforços e perspectivas recentes”. *Radar*, n.48. Brasília: IPEA, 2016
- KRUGMAN, P. R. *The age of diminished expectations: US economic policy in the 1990s*. MIT Press, 1997.
- LEMONS, M. B. et al. *Fundos setoriais e sistema nacional de inovação: uma avaliação exploratória*. Brasília: Ipea; UFMG, 2009.
- _____. *Contribuição dos fundos setoriais para a mudança na base tecnológica do país*. Brasília: Ipea; UFMG, 2010.
- LIPSEY, R. E. *Foreign Direct Investment and the Operations of Multinational Firms: Concepts, History, and Data*. National Bureau of Economic Research, 2001.
- MACIENTE, A. N.; ARAÚJO, T.C. *A demanda por engenheiros e profissionais afins no mercado de trabalho formal*. 2011.
- MARTINS, B.; VIANA, C. “Agenda de Estudos sobre Crédito no Brasil”. In: Seminário Financiamento das Empresas e do Investimento no Brasil. Rio de Janeiro, 2017.
- MEYER, P. “Áreas de maior especialização científica do Brasil e identificação de suas atuais instituições líderes”. In: DE NEGRI, Fernanda; SQUEFF, FHS. *Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil*. Brasília: Ipea, 2016.
- MORGERA, E. *OECD Guidelines for Multinational Enterprises. The Handbook of Transnational Governance: Institutions and Innovations*, p. 314, 2011.
- NARULA, R.; ZANFEI, A. *Globalisation of innovation*. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- NARULA, R.; GUIMÓN, J. “The Contribution of Multinational Enterprises to the Upgrading of National Innovation Systems in the EU New Member States: Policy Implications”. In: Global Forum on International Investment Conference, OECD, Paris. 2009.
- NASCIMENTO, P. A. M.; VERHINE, R. E. “Considerações sobre o investimento público em educação superior no Brasil”. In *Radar*. Brasília: IPEA. 2017.

- OECD – Organization for Economic Cooperation and Development. Community Innovation Surveys (CIS), Paris.
- Organization for Economic Cooperation and Development. “Education at a Glance: ISCED-97. Financial and human resources investment in education”. *OECD Education Statistics (database)*. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/data-00750-en>. Acesso em: 05/10/2017
- PEDROSA, R.H.L.; CHEIMOVICH, H. 2015. “Brazil”. In: *Unesco Science Report: Towards 2030*, 211-229. Paris: Unesco Publishing.
- PROZCZINSKI, D.; STEINBRUCH, A. M. *Os obstáculos à internacionalização de empresas inovadoras e o papel dos ambientes de inovação no Brasil*. 2014
- RAUEN, A. T (org.). *Políticas de Inovação pelo lado da demanda no Brasil*. Brasília: Ipea, 2017.
- RAUEN, A.T. “Mapeamento das compras federais de P&D segundo uso da Lei de Inovação no período 2010-2015”. In: RAUEN, A. T (org.). *Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil*. Brasília: Ipea, 2017.
- ROCCA, C. “Financiamento das empresas e do investimento no Brasil”. In: Seminário Financiamento das Empresas e do Investimento no Brasil. Rio de Janeiro, 2017.
- SALERNO, M. S. *et al.* “Uma proposta de sistematização do debate sobre falta de engenheiros no Brasil”. 2014.
- SCHWARTZMAN, S. “The Leading Latin American Universities and Their Contribution to Sustainable Development in the Region.” In *University and Development in Latin America Successful Experiences of Research Centers*, Simon Schwartzman (org.), 5-20, 2008
- SCHWARTZMAN, S. “Masificación, equidad y calidad – los retos de la educación superior en Brasil – Análisis del período 2009-2013.” In: *Políticas de Educación Superior en Iberoamérica, 2009-2013*, José Joaquín Brunner e Cristóbal Villalobos (org.), 199-243. Santiago: Ediciones Universidad Diego Portales, 2014
- SCHWARTZMAN, S. “Perspectivas para a educação superior no Brasil”. In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (orgs.). *Desafios da nação*. Brasília: Ipea, 2018.
- SHIMABUKURO, M.; ESTENDER, A. C.; GALVÃO, M. *Gestão de negócios e a internacionalização de empresas*. 2014
- SILVA, N.; ZILBERMAN, E. “Restrições financeiras e o PIB per capita no Brasil”. Mimeo, 2016a.
- _____. “Impactos macroeconômicos da expansão do crédito no Brasil: o período 2001-2011”. 44º Encontro Nacional de Economia - Anpec, Foz do Iguaçu, 2016b.
- SÓNMEZ, A. “Multinational Companies, Knowledge and Technology Transfer: Turkey’s Automotive Industry in Focus”. *Springer Science & Business Media*, 2013.
- SQUEFF, F. “O poder de compras governamental como instrumento de desenvolvimento tecnológico: análise do caso brasileiro”. Texto para Discussão, n. 1922. Brasília: Ipea. 2014.
- SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. M. “A interação universidades e empresas em perspectiva histórica no Brasil”. In: SUZIGAN, W.; ALBUQUERQUE, E. M.; CARIO, S. A. F. (orgs.). *Em busca da inovação: interação universidade-empresa no Brasil*. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2011.
- TACHIBANA, T. Y.; FILHO, N.M; KOMATSU, B. “Ensino superior no Brasil”. In *Policy Papers*. São Paulo: Insper Centro de Políticas Públicas. 2015.
- TAFNER, P. “Educação básica no Brasil: evolução recente, fragilidades, impasses e desafios”. In: DE NEGRI, J. A.; ARAÚJO, B. C.; BACELETTE, R. (Orgs.). *Desafios da nação: artigos de apoio*. Brasília: Ipea, 2018.
- TEIXEIRA, C. F. S.; COELHO, M. T. A. D.; ROCHA, M. N. D. “Bacharelado interdisciplinar: uma proposta inovadora na educação superior em saúde no Brasil”. 2013.
- THE ATLAS OF ECONOMIC COMPLEXITY, Center for International Development at Harvard University. 2017, Disponível em: <http://www.atlas.cid.harvard.edu>. Acesso em: 05/10/2017
- TE VELDE, D. W. “Foreign direct investment and development: an historical perspective”. Background Paper for World Economic and Social Survey for, 2006.
- TOPEL, R. “Labor Markets and Economic Growth.” In: *Handbook of Labor Economics*, Orley Ashenfelter e David Card (orgs), v. 3C, Capítulo 44: 2943-2984, Elsevier, 1999.
- WALTENBERG, F. D.; CARVALHO, M. “Cotas aumentam a diversidade dos estudantes sem comprometer o desempenho?” *Sinais Sociais* 7 (20):36-77. 2012.
- WALSH, J P.; YU, J. *Determinants of Foreign Direct Investment: A Sectoral and Institutional Approach*. 2010.
- WOOD JR, T.; P CALDAS, M. “Empresas brasileiras e o desafio da competitividade”. *Revista de Administração de Empresas*, v. 47, n. 3, p. 1-13, 2007.
- ZAGO, M. A. “Evolução e perfil da produção científica brasileira”. In: SENNES, R. U.; BRITTO FILHO, A. (orgs.). *Inovações tecnológicas no Brasil: desempenho, políticas e potencial*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2011.
- ZUNIGA, P., DE NEGRI, F., DUTZ, M. A., PILAT, D., RAUEN, A. “Conditions for Innovation in Brazil: A Review of Key Issues and Policy Challenges”. Discussion Paper 218. Brasília: Ipea. 2016.
- XAVIER, A. N.; TUROLLA, F. “A internacionalização da empresa brasileira: a literatura e alguns fatos estilizados”. Anais do IV Ciclo de Debates EITT, do Grupo de Estudos em Economia Industrial, Trabalho e Tecnologia do Programa de Estudos Pós-Graduados em Economia Política da PUC-SP. São Paulo, v. 24, 2006.

Avanços das últimas décadas e desafios para o futuro

Nos sistemas nacionais de ciência, tecnologia e inovação dos países desenvolvidos, os governos definem as estratégias e as políticas, a academia forma recursos humanos e gera conhecimento, e as empresas realizam inovação tecnológica intensiva, criando novos produtos e novos processos. Ao longo da história, o Brasil se atrasou muito, mas já conta com grande acervo de experiências em políticas de C,T&I. Construímos a maior e mais qualificada comunidade científica e tecnológica da América Latina, com mais de 120 mil pesquisadores com doutorado, e obtivemos êxito em áreas importantes. Não podemos retroceder.



Sergio Machado Rezende

Professor titular emérito da Universidade Federal de Pernambuco. Doutor pelo Massachusetts Institute of Technology, foi secretário de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco em 1995-1998, no governo de Miguel Arraes, e ministro da Ciência e Tecnologia em 2005-2010, no governo de Luiz Inácio Lula da Silva.

Ciência e tecnologia: motores da prosperidade

Nestes tempos em que os Estados Unidos, respaldados pelo poderio militar e a riqueza econômica, impõem ao mundo seus caprichos belicosos e comerciais, o Brasil praticamente não tem voz no cenário internacional. É clara a diferença na prosperidade das duas nações. Cabe indagar: por que dois países com áreas e recursos naturais comparáveis, descobertos e colonizados na mesma época por europeus, chegaram ao terceiro milênio com tamanha discrepância em riquezas e em condições de vida de suas populações?

São muitas as razões. Uma das mais importantes é a capacidade de produzir ciência e dominar tecnologias sofisticadas, que os americanos têm e nós não. Parcela considerável de nossa sociedade conhece este fato, mas não compreende bem o que isto representa. Políticos, empresários e economistas, em geral, entendem como tecnologia algo que pode ser comprado e consideram que nosso problema é fundamentalmente econômico. Difunde-se a percepção de que pesquisa e inovação não estão ao nosso alcance; com políticas públicas adequadas o país poderia se desenvolver economicamente e, então, comprar a tecnologia que desejar. Ledo engano: tecnologia é aplicação do conhecimento e, portanto, está intimamente ligada à ciência.

Os norte-americanos têm um formidável domínio de tecnologias estratégicas porque investiram na educação e começaram a fazer ciência há muito tempo. Em torno de 1750, quando a ciência parecia restrita à Europa, Benjamin Franklin já realizava experiências em eletricidade e contribuía para a descoberta da lei de conservação de cargas elétricas. Franklin, o primeiro físico norte-americano, além de pesquisador, foi militante político. Fundou um jornal que pregava idéias libertárias, foi deputado pela Filadélfia e teve uma participação importante na redação da Declaração de Independência em 1776.

Cem anos depois, os Estados Unidos já eram uma república federativa independente, soberana e em rápido processo de industrialização. Os cientistas norte-americanos realizavam experiências pioneiras e disputavam grandes descobertas com os europeus. Na segunda metade do século XIX contribuíram muito para o desenvolvimento do eletromagnetismo, que resultou na invenção do gerador e do motor elétrico, responsáveis pelo uso da energia elétrica na iluminação e em inúmeras aplicações domésticas e industriais, revolucionando os costumes da humanidade.

Também inventaram o telégrafo, o telefone e o rádio, artefatos que revolucionaram as comunicações. Surgiram então os primeiros grandes empreendedores em tecnologia. Alexander Graham Bell, inventor do telefone, criou uma empresa para explorá-lo comercialmente, que, depois, tornou-se a AT&T. Thomas Edison inventou a lâmpada elétrica, o microfone de carvão para telefones, o gramofone, entre outros, e criou a Edison Electric, que depois se tornou a General Electric (GE). Bell e Edison não eram cientistas, mas sabiam que sem ciência e inovação tecnológica suas empresas não poderiam competir e ganhar mercados. Por isso, a AT&T e a GE criaram centros de pesquisa e contrataram os primeiros PhDs formados em Harvard, MIT, Yale etc.

Mas, para consolidar seu domínio tecnológico, faltava mais ciência. Então os Estados Unidos abriram as portas para os cientistas que fugiam dos perigos das guerras na Europa, como Albert Einstein e muitos outros. O trabalho deles foi essencial para dar grande impulso ao sistema local de ciência e tecnologia (C&T) e criar programas de formação em massa de pesquisadores por meio de cursos de mestrado e de doutorado.

Após a Segunda Guerra Mundial várias empresas norte-americanas criaram centros de pesquisa e desenvolvimento (P&D), ampliaram a contratação de pesquisadores nas áreas de “ciências duras” e nas engenharias, e expandiram sua capacidade de inovar e lançar novos produtos no mercado. Ao mesmo tem-

po, o governo federal ampliou as políticas de C&T e criou diversos institutos federais de pesquisa em áreas estratégicas, junto com várias agências de financiamento. Destacaram-se a National Science Foundation, os Institutos Nacionais de Saúde e agências no Departamento de Defesa e no Departamento de Energia. Essas agências ampliaram muito o financiamento de pesquisas nas universidades, nos institutos e também nas empresas, em geral por meio de contratos de desenvolvimento de produtos para defesa, energia e saúde. Assim, os Estados Unidos dominaram o ambiente de C&T no pós-guerra e atraíram pesquisadores de todo o mundo, notadamente da Europa, do Japão e de Taiwan, para suas universidades, institutos e empresas.

Derrotados na guerra, Alemanha e Japão passaram a priorizar C&T no processo de reconstrução de suas indústrias. Conseguiram se recuperar em poucos anos. O progresso do Japão contaminou outros países asiáticos. No final do século XX também a Coreia do Sul já era uma potência industrial. A Figura 1 ilustra a correlação entre desenvolvimento econômico e desenvolvimento científico e tecnológico. Os oito países mais ricos do mundo, conforme o produto interno bruto (PIB) aferido pelo Fundo Monetário Internacional (FMI) em 2015, são os mesmos oito países com maior número de publicações em C&T, de acordo com a base de dados Scimago.

Enganam-se os que acham que esses países investem em ciência porque são ricos. As evidências são

claras em apontar que, como já dizia Oswaldo Cruz em 1900: “Meditai se só as nações fortes podem fazer ciência ou se é a ciência que as faz fortes.” Ou, como disse recentemente o físico Michio Kaku: “Ciência é o motor da prosperidade.” O exemplo recente mais notável é o da China, que em 2002 tinha um PIB de cerca de US\$ 1 trilhão, o sétimo do mundo. Nas últimas três décadas ela incorporou C&T em seus programas de desenvolvimento e estabeleceu uma política de Estado para o setor, ampliando programas e recursos, mesmo nas mudanças de governo. Hoje, é o segundo país mais rico do mundo e o segundo maior produtor de ciência.

O que caracteriza os oito países da Figura 1, assim como muitos outros países industrializados, é

Figura 1 | Correlação entre desenvolvimento econômico e desenvolvimento científico

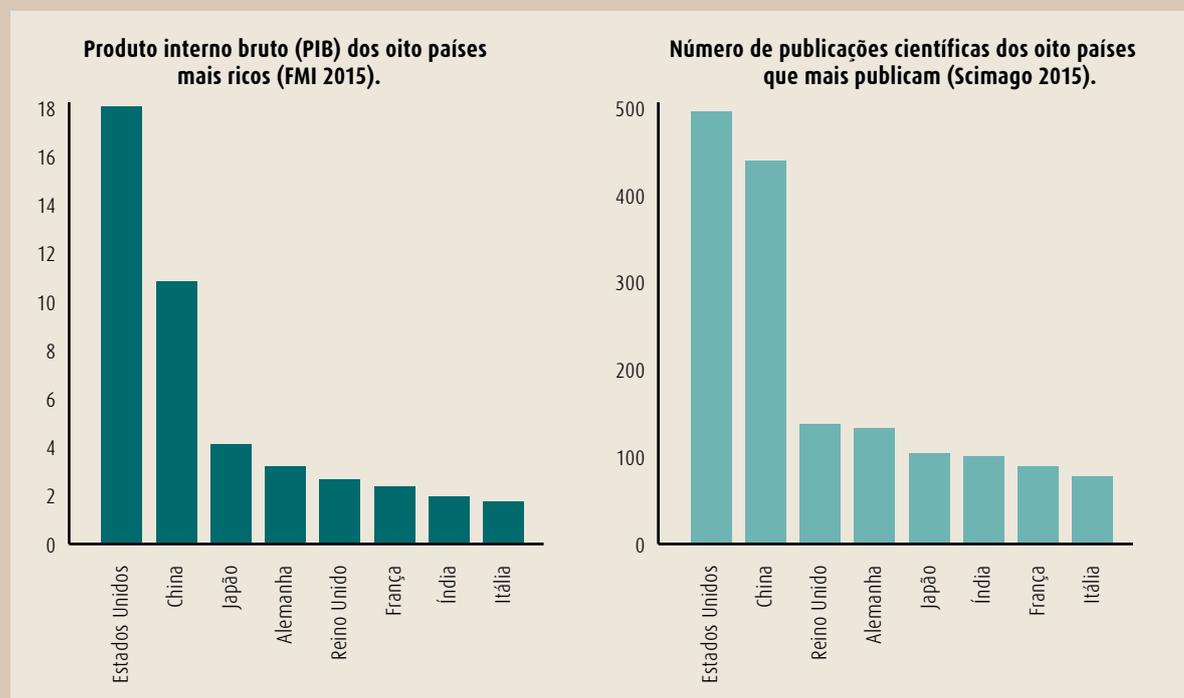


Figura 2 | Ilustração de um sistema nacional de ciência, tecnologia e inovação (SNC,T&I)

uma economia baseada no conhecimento, para a qual é essencial ter um Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNC,T&I). Como aparece na Figura 2, um SNC,T&I é basicamente formado por governo, universidades e empresas. O papel do governo é crucial: ele define as políticas e estratégias de C,T&I, articuladas com outras políticas públicas, notadamente a industrial. As universidades têm o papel essencial de formar recursos humanos, gerar conhecimento para avançar as fronteiras da ciência e produzir novas tecnologias. Nas empresas ocorre de maneira mais intensiva a inovação tecnológica que gera novos produtos, processos e serviços ou melhora de maneira incremental os já existentes, para torná-los competitivos e ganhar mercados. Nos países industrializados os governos são responsáveis por pelo menos 50% do

financiamento a P&D nas universidades e nos centros especializados, que em geral são públicos.

Notas históricas e início tardio de C&T no Brasil

A história da formação dos políticos e empresários de nosso país é muito diferente da dos Estados Unidos. Na época de Franklin, o Brasil era dirigido por governadores-gerais, ou vice-reis, que se revezavam no poder, protegendo seus interesses pessoais e mantendo a colônia submissa. Nossos colonizadores portugueses não permitiam que aqui houvesse tipografias para imprimir panfletos, jornais ou livros, veículos essenciais para a educação e a difusão de ideias. Cem anos depois ainda vivíamos em uma monarquia escravocrata. Nossos empresários eram os usu-

neiros de cana-de-açúcar, os barões do café e os fazendeiros de cacau, que dominavam a política, protegendo os interesses da elite e atuando em sintonia com os detentores do capital internacional. Nossa independência não foi conquistada, mas consentida por razões que eram convenientes aos dominadores. O Brasil se desenvolveu assim, sempre tolhido por interesses externos, com injustiça social e sem empresas que produzissem com base em educação, ciência e tecnologia. Nos especializamos na produção de produtos simples e na exportação de matérias-primas. Até o século XX não contávamos nem com universidades, nem com um sistema amplo de ensino básico, nem com indústrias nacionais.

Os primeiros cursos de direito e de medicina só foram criados depois que a família real portuguesa

veio para o Brasil em 1808. Mas somente em 1934, 298 anos depois da fundação da Universidade Harvard, foi implantada a nossa primeira universidade de verdade, a de São Paulo. Até a década de 1960 uma parcela muito pequena da população tinha acesso ao ensino superior. Com raras exceções, os professores das faculdades e escolas exerciam atividades profissionais em outras áreas. Não eram pesquisadores, entre outras razões porque nas universidades não havia emprego em regime de tempo integral. Tampouco havia programas de formação pós-graduada, assim como engenheiros ou especialistas em setores básicos da indústria. Nosso parque industrial era incipiente. Não existia cultura de inovação nas empresas.

As bases para alterar este quadro foram lançadas em 1951 com a criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), que passaram a conceder bolsas de estudos para formação pós-graduada no exterior e a apoiar as atividades científicas nos pequenos grupos de pesquisa que estavam sendo criados. A atuação do CNPq e da Capes foi fundamental para mudar o cenário da C&T no Brasil, que nas últimas décadas teve quatro períodos:

1. Construção e expansão do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI), 1960-1994;
2. Crise e transição para uma nova sistemática de financiamento, 1995-2003;
3. Implantação de uma política federal de C&T mais consistente, 2003-2013;
4. Retrocessos recentes no sistema federal de C,T&I.

A construção de mecanismos de financiamento no período 1960-1994

A construção do Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia no Brasil se deu entre as décadas de 1960 e 1980. Nessa época, o CNPq e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), criada em 1967 e executora do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) a partir de 1971, implantaram diversas modalidades de apoio financeiro que se tornaram bem conhecidas da comunidade científica e tecnológica.

O maior desafio para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia no Brasil continua a ser a falta de políticas de Estado. Mudam os governos e, com eles, mudam as prioridades, ameaçando a continuidade até mesmo dos programas mais bem-sucedidos.

Mediante termos de outorga, o CNPq concedia bolsas e auxílios solicitados individualmente pelos candidatos na forma de demanda espontânea, em prazos estabelecidos em calendário anual que variou pouco naquelas décadas. As principais modalidades de bolsas eram: iniciação científica, para estudantes de graduação; mestrado e doutorado, para estudantes de pós-graduação; e pesquisa, para pesquisadores de universidades e de instituições de pesquisa (como adicional de salário). Os auxílios contemplavam, principalmente, o desenvolvimento de projetos, a realização de eventos (congressos, conferências) e viagens ao exterior, tanto para programas de formação e estágios como para participação em eventos.

A Finep concedia financiamentos não reembolsáveis para centros de pesquisa e institutos ou departamentos acadêmicos, mediante o estabelecimento de convênios com duração típica de dois anos, firmados com instituições-sede ou fundações que as representavam. Estes apoios institucionais, como eram conhecidos, previam recursos para obras e reformas físicas, aquisição de equipamentos, material permanente e de consumo e outros custeios das atividades de pesquisa, inclusive pagamento de pessoal. Não havia calendário fixo: em qualquer época a instituição interessada apresentava uma carta-consulta que, uma vez aprovada, a habilitava a formalizar a proposta de financiamento. Esta modalidade de apoio financeiro institucional proporcionou a criação ou a consolidação de centenas de unidades

de pesquisa e de pós-graduação durante as décadas de 1970 e 1980.

Os programas da Finep incluíam instituições que atuavam em todas as áreas do conhecimento. Mas as mais beneficiadas pelos recursos do FNDCT eram as áreas tradicionais, como as ciências físicas e matemáticas, as ciências biológicas e as engenharias. Adicionalmente, aportes financeiros institucionais foram canalizados para a Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ) e para o Centro Técnico Científico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (CTC/PUC-RJ) durante mais de duas décadas. Desde que foi criada, a Finep também financiou projetos de engenharia, desenvolvimento e inovação em empresas, por meio de operações de crédito, com taxas de juros, prazos de carência e de amortização bastante favoráveis em comparação às condições do mercado (empréstimos de bancos comerciais).

Enquanto isso, a Capes dedicava a maior parte de seu esforço para apoiar os programas de pós-graduação, basicamente pela concessão de bolsas de mestrado e doutorado, e desenvolvia uma competente sistemática de credenciamento e avaliação dos cursos de pós-graduação.

Durante a década de 1970, o governo federal elaborou dois Planos Básicos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PBDCTs), que norteavam a política de C&T para os triênios seguintes. Além de contemplar os orçamentos para o setor nos anos subsequentes, os PBDCTs também definiam os programas de

desenvolvimento científico-tecnológico e de formação de recursos humanos para a pesquisa, os programas setoriais prioritários e as estratégias para sua implementação. Entretanto, em relação à C&T para o desenvolvimento industrial, os planos eram vagos, semelhantes a cartas de intenção, com pouca conexão com a política industrial em vigor.

Ao ser criado em 1985, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) absorveu em sua estrutura a Finep, o CNPq e suas unidades de pesquisa. O MCT conseguiu recuperar parcialmente os recursos do FNDCT, que haviam sido muito reduzidos em relação aos maiores níveis da década de 1970. A primeira gestão do MCT conquistou outros avanços importantes, como o aumento do número de bolsas de pós-graduação no CNPq e a implementação do Programa de Formação de Recursos Humanos em Áreas Estratégicas (RHAE). Contando com maior volume de recursos, o CNPq passou a conceder bolsas de pós-graduação e bolsas RHAE de forma institucional, aprovando cotas para as instituições credenciadas, que se encarregavam de selecionar os candidatos. Mais tarde, já na década de 1990, também as bolsas de iniciação científica passaram a ser, em parte, distribuídas por cotas, no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (Pibic).

As dificuldades para a recuperação plena dos orçamentos do FNDCT levaram o MCT a criar um novo instrumento de financiamento, o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), que vi-

gorou de 1985 a 1998, usando recursos de empréstimos do Banco Mundial (BIRD) e contrapartidas do Tesouro Nacional. O PADCT introduziu três características novas na sistemática de financiamento das agências do MCT:

1. Priorização de áreas. Apenas algumas áreas de conhecimento eram passíveis de financiamento: química e engenharia química, biotecnologia, geociências, novos materiais, instrumentação, educação em ciências, informação e gestão de C&T, manutenção, materiais de consumo especiais;
2. Seleção por editais. Os projetos a serem financiados eram selecionados por meio de editais de chamadas públicas, elaboradas pelos comitês técnicos de cada área e publicadas a qualquer tempo, sem calendário fixo;
3. Múltiplas agências. O programa era gerenciado por uma secretaria executiva vinculada ao MCT, sob a orientação de um comitê de coordenação, sendo executado por três agências, Finep e CNPq (vinculadas ao próprio MCT) e Capes (vinculada ao Ministério da Educação). A existência do PADCT provocou notáveis avanços em algumas áreas, notadamente química e biotecnologia.

O final da década de 1980 e o início da de 1990 foram caracterizados por grande instabilidade na estrutura de gestão de C&T do governo federal. O MCT foi extinto e recriado mais de uma vez. Apesar disto e da irregularidade dos recursos para bolsas e fomen-

to, os instrumentos de financiamento da Finep e do CNPq foram mantidos em sua essência.

Em 1995, sob nova administração federal, o MCT dispunha de um conjunto aparentemente consolidado de instrumentos de financiamento do sistema nacional de C&T. O CNPq concedia, principalmente, bolsas de iniciação científica, mestrado, doutorado, pós-doutorado, pesquisa e RHAe, assim como auxílios para pesquisa, realização de eventos e viagens técnico-científicas. O número de bolsas e o orçamento de fomento cresciam, mesmo modestamente, há vários anos, e o calendário de solicitação era bem estabelecido. A Finep mantinha os programas de financiamento institucional com recursos do FNDCT, enquanto o PADCT financiava projetos de pesquisa nas áreas estratégicas estabelecidas pelo MCT, selecionados por meio de chamadas públicas.

Crise e transição para uma nova política de C,T&I no período 1995-2002

O quadro foi substancialmente alterado nos anos seguintes. No CNPq, o número de bolsas passou a diminuir anualmente a partir de 1995, enquanto o programa de auxílios à pesquisa foi interrompido em 1997. Nesse mesmo ano, a Finep rescindiu os convênios institucionais em vigor, face à drástica redução dos recursos do FNDCT. Em 1999, o PADCT, que já estava na terceira versão, foi desativado, apesar de haver saldo nos recursos do empréstimo do Banco Mundial.

A descontinuidade dos programas de apoio institucional da Finep foi causada pelo chamado “esgotamento” do FNDCT. Isto não provocou maiores reações na comunidade científica, basicamente por três razões:

1. Com o grande crescimento do sistema de C&T e a limitação de recursos para os apoios institucionais, a maior parte das instituições não estava contemplada nos programas da Finep;
2. Os aportes institucionais, principalmente nas grandes instituições, contemplavam grupos de pesquisa menos qualificados, que se beneficiavam da participação em projetos institucionais na companhia de grupos mais qualificados e de maior prestígio;
3. Durante as décadas de 1980 e 1990, outras fontes de recursos federais e estaduais foram criadas para suprir as necessidades básicas de manutenção dos programas de pós-graduação e de grupos de pesquisa. Isto ocorreu de maneira notável em São Paulo, que concentrava cerca de 50% dos pesquisadores do país. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) dispunha de recursos significativos para fomentar a pesquisa.

A redução dos recursos do FNDCT e do fomento à pesquisa no CNPq, além da interrupção do PADCT – decisões de política microeconômica –, provocaram grande descontinuidade na política federal de C&T. Isto decorreu das dificuldades econômicas crescen-

tes e da pouca importância atribuída ao setor de C&T pelas principais autoridades federais da área econômica. Pesou também a falta de evidências mais concretas dos resultados da ciência e da tecnologia para o aumento da riqueza e o desenvolvimento do país. Esta última razão decorreu da falta de investimento do setor empresarial em atividades de P&D, da ausência de políticas industriais que propiciassem o advento de uma cultura de inovação nas empresas, bem como do distanciamento da comunidade acadêmica em relação ao setor produtivo.

O período 1995-2002 pode ser caracterizado como de transição: por um lado, as contingências econômicas levaram o MCT a interromper os programas tradicionais de financiamento; por outro, o ministério lançou as bases para o processo de reconstrução da política de C&T. Isto demandou a criação de novas modalidades e formatos de financiamento e, principalmente, novos mecanismos para assegurar fontes de recursos mais estáveis para o setor.

A modalidade de apoio financeiro a projetos de pesquisa submetidos espontaneamente ao CNPq por líderes de grupos, em calendário anual, foi substituída por três programas, implementados no período de 1996-2000. O primeiro foi o Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (Pronex), concebido com base na idéia de que os recursos para a pesquisa estavam fragmentados. Ele pretendia proporcionar apoio financeiro continuado apenas aos grupos de pesquisa de alta competência, que tivessem liderança e papel nuclea-



Obtivemos resultados expressivos entre 2003 e 2013, com 87 programas prioritários, todos com objetivos claros, institucionalidade definida e orçamentos garantidos.

dor em suas áreas de atuação. Por meio de três chamadas públicas anuais de concorrência nacional, publicadas em 1996, 1997 e 1998, foram selecionados 206 núcleos de excelência. Na época, o número de grupos de pesquisas cadastrados no Diretório de Grupos do CNPq era de cerca de 10 mil.¹ Além de apoiar apenas um número reduzido de grupos, o Pronex promoveu considerável concentração regional, pois 74% dos núcleos contemplados estavam localizados na região Sudeste, 17% na região Sul e apenas 9% nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Cabe registrar, também, que apenas grupos acadêmicos foram beneficiados, ficando os institutos tecnológicos alijados do Pronex. Inicialmente executado pela Finep, o programa teve sua gestão transferida para o CNPq em 2000, quando já havia perdido prioridade entre os programas do MCT. A partir daquele ano começaram atrasos nas liberações de recursos, o que obrigou o CNPq a estender os prazos de execução dos projetos. Grande parte deles teve sua duração alterada de três para cinco anos, sem alocação de verbas adicionais. Entre 1999 e 2002 não houve lançamento de outras chamadas públicas do Pronex.

A interpretação dada na época para a perda de prioridade do Pronex foi a de que ele não evitou a “dispersão” de recursos para fomento que ocorria nos programas de auxílio à pesquisa: considerou-se que 206 era um número excessivo de núcleos de excelência no país. Esta foi uma das razões para a virtual substituição do

Pronex pelo programa Institutos do Milênio. No ano de 2000 lançou-se uma chamada pública para selecionar propostas para a nova categoria de institutos, caracterizados como redes virtuais de instituições, coordenadas por uma instituição-mãe. O novo programa foi financiado com o saldo dos recursos do Banco Mundial para o PADCT, com contrapartida do Tesouro Nacional. Das 217 propostas apresentadas, apenas dezessete foram selecionadas, novamente com enorme concentração regional: catorze propostas eram da região Sudeste, duas da região Nordeste e apenas uma da região Sul.

A reação negativa da comunidade científica ao efeito da concentração promovida pelo Pronex e pelo programa Institutos do Milênio levou o CNPq a lançar, em 2000, um edital universal para selecionar projetos apresentados por líderes de grupos de pesquisa, concorrendo ao financiamento em três categorias de valores-limites.

O avanço mais importante no setor de C&T no final da década de 1990 foi, sem dúvida, o advento dos fundos setoriais de ciência e tecnologia. Criados a partir de 1999, na esteira do Fundo Setorial do Petróleo e Gás Natural, estabelecido por lei no ano anterior, os fundos setoriais logo foram percebidos como o caminho para assegurar fontes de recursos mais estáveis para C&T. O MCT elaborou vários outros projetos de lei que definiam receitas para novos fundos, oriundas de contribuições incidentes sobre o resultado da exploração de recursos naturais pertencentes à União; de parcelas do imposto sobre produ-

tos industrializados (IPI) de certos setores e da contribuição de intervenção no domínio econômico (Cide) incidente sobre os valores que remuneram o uso ou a aquisição de conhecimentos tecnológicos e a transferência de tecnologia do exterior. Durante a tramitação dos projetos houve grande mobilização das sociedades científicas no Congresso Nacional, o que contribuiu para a aprovação das leis em prazos relativamente curtos.

O modelo de gestão concebido para os fundos setoriais foi baseado na existência de comitês gestores, um para cada fundo. Cada comitê é presidido por um representante do MCT e integrado por representantes de ministérios afins, agências reguladoras, setores acadêmicos e empresariais, além das agências do MCT (Finep e CNPq). Os comitês gestores têm a prerrogativa legal de definir as diretrizes, ações e planos de investimentos dos fundos setoriais. Se, por um lado, este modelo possibilitou a participação de amplos setores da sociedade nas decisões sobre a aplicação de recursos, por outro teve como resultado uma gestão pouco integrada. Dos catorze fundos existentes em 2002, doze eram setoriais e apenas dois transversais (Fundo de Infra-estrutura e Fundo Verde-Amarelo).² Por isso, a recomposição do FNDCT através dos fundos setoriais dificultou a implementação de uma política abrangente de C&T, pois diversos setores importantes da economia, assim como as áreas de pesquisa básica, continuavam com poucos recursos.

Outra iniciativa importante do MCT no período 1999-2002 foi

a realização da II Conferência Nacional de CT&I,³ em setembro de 2001. Ela foi precedida pela elaboração do chamado *Livro verde de CT&I*, com informações, análises, diagnósticos e desafios do setor, baseados nos resultados de um amplo debate coordenado pelo MCT sobre o papel do conhecimento e da inovação na aceleração do desenvolvimento social e econômico do país. Além de publicar os trabalhos apresentados, a Conferência também publicou o chamado *Livro branco de CT&I*, contendo os desafios para a consolidação do sistema nacional de CT&I e um conjunto de objetivos, diretrizes e instrumentos para uma política nacional de CT&I.

Período 2003-2013: implantação de políticas federais de C,T&I mais consistentes

A partir de 2003 o governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva tomou duas iniciativas que mudaram muito o quadro de C&T no Brasil: definiu uma política nacional de C,T&I em 2004 e lançou o plano de ação de C,T&I (Pacti) em 2007. O Pacti tinha quatro prioridades estratégicas, norteadas pela política nacional de C,T&I:

1. Expansão e consolidação do sistema nacional de ciência, tecnologia e inovação;
2. Promoção da inovação tecnológica nas empresas;
3. Pesquisa, desenvolvimento e inovação em áreas estratégicas;
4. Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento social.

Estas prioridades compreendiam 87 programas, todos com objetivos claros, institucionalidade, metas e orçamentos. Em 2011, no início do governo de Dilma Rousseff, foi anunciada a estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação (Encti), basicamente com as mesmas prioridades do Pacti, mas sem metas e orçamentos concretos.

Em todas as quatro prioridades os resultados alcançados foram expressivos. Na primeira delas os principais resultados foram:

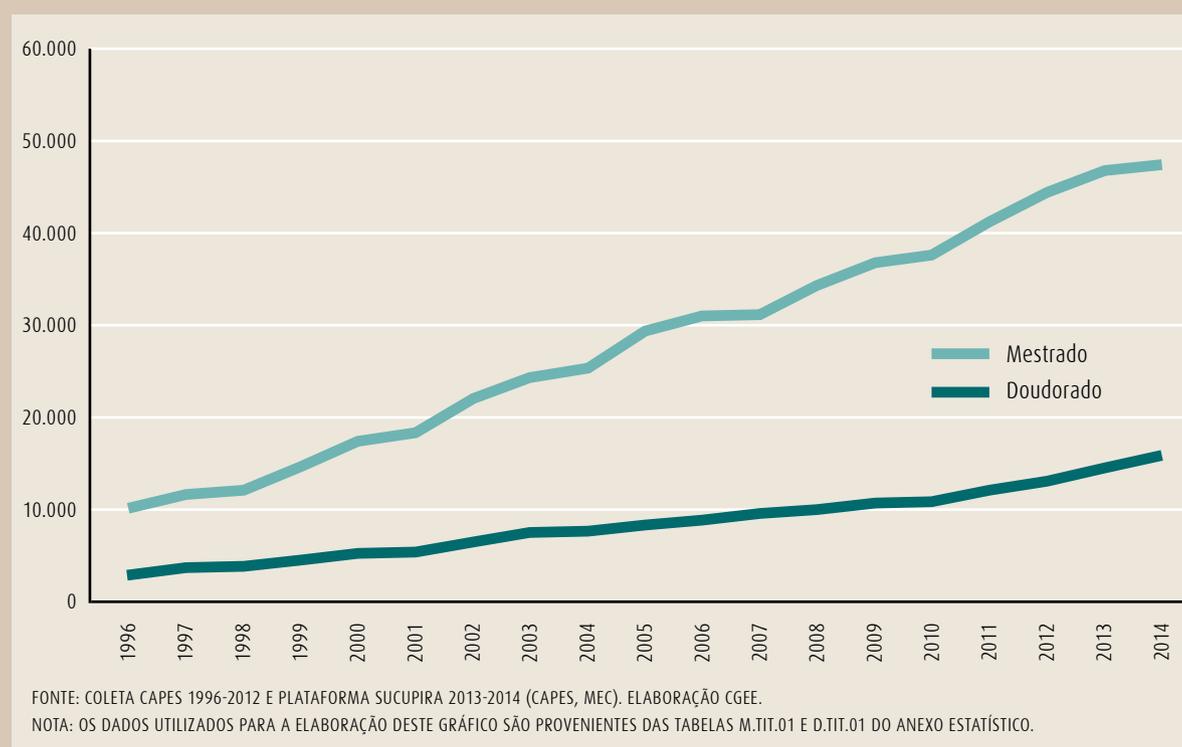
1. Grande ampliação dos recursos e das modalidades de financiamento da pesquisa científica e tecnológica, com boa distribuição geográfica;

2. Aumento considerável no número de bolsas de estudo e de pesquisa do CNPq e da Capes;
3. Ampliação das ações e iniciativas de cooperação internacional em C&T;
4. Forte aumento da articulação entre o governo federal e os estados, o que contribuiu para consolidar o sistema nacional de C,T&I;
5. Conclusão da conexão à internet em alta velocidade de todas as universidades, escolas técnicas e instituições de pesquisa do país através da nova Rede Nacional de Pesquisa (RNP).

Um dos resultados importantes no interior da prioridade 1 do

PACTI foi o considerável aumento do número de bolsas do CNPq e da Capes para estudantes, desde a iniciação científica até a pós-graduação, e para pesquisa. O número de bolsas das duas agências evoluiu de cerca de 80 mil em 2001 para cerca de 200 mil em 2013. Naquele ano, cerca de 30 mil bolsas eram do programa Ciência Sem Fronteiras, criado em 2011, com o objetivo de aumentar o intercâmbio com o exterior. O aumento do número de bolsas levou a um expressivo crescimento na formação de recursos humanos pós-graduados, com titulação de mestre e doutor, como mostra a Figura 3. Nela, chama a atenção o fato de que em dezenove anos o número de mes-

Figura 3 | Evolução no número de títulos de mestrado e de doutorado concedidos anualmente no Brasil de 1996 a 2014



tres e doutores formados por ano foi multiplicado cinco vezes.

Na segunda metade da década de 2000, o CNPq passou a dispor de editais em programas para apoiar projetos numa larga faixa de pesquisa. O edital universal, lançado anualmente, foi a maior iniciativa do CNPq para apoiar projetos de pesquisa de indivíduos e grupos. Podem ser apresentadas propostas em qualquer área do conhecimento. Naquela época, o valor do edital universal foi substancialmente ampliado com recursos provenientes do FNDCT. O CNPq também lançou uma grande variedade de editais para selecionar projetos em temas específicos, numa vasta gama de áreas de C&T, apoiados com recursos dos fundos setoriais e também do orçamento próprio.

Uma iniciativa importante, criada na década de 1990, que foi revigorada e ampliada pelo CNPq é o Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (Pronex), que apoia núcleos de pesquisa formados por grupos de reconhecida excelência e articulados em redes temáticas. Em 2008 ele foi ampliado com recursos do FNDCT e passou a ser executado em parceria com fundações estaduais de amparo à pesquisa, que também aportam recursos de contrapartida e lançam editais em âmbito estadual.

O maior programa da história do CNPq, criado em 2008, foi o dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs). O programa Institutos do Milênio, criado em 2001, visava a formar redes de pesquisa em todo o território nacional, a promover excelência científica e tecnológica e a forta-

lecer grupos de pesquisa em qualquer área do conhecimento, incluindo as áreas definidas como estratégicas. Por diversas razões os Institutos do Milênio não chegaram a ter a importância e a dimensão planejadas. Como decorrência do Pacti, eles deram lugar aos INCTs, caracterizados por uma sede em instituição de excelência na pesquisa e no ensino e atuando

Avançamos nas ciências, em diversas áreas, mas a inovação tecnológica nas empresas brasileiras ainda é tímida: menos de 5% dos nossos pesquisadores atuam nelas.

em rede temática com instituições em outras regiões do território nacional. O programa, coordenado pelo CNPq, foi articulado e co-financiado com a Finep (FNDCT), Ministério da Saúde, Capes, BNDES, Petrobras e Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Santa Catarina, Pará, Amazonas, Piauí e Rio Grande do Norte. O edital do CNPq de 2008 selecionou 122 INCTs, com recursos da ordem de R\$ 609 milhões. O segundo edital para

seleção de INCTs, inicialmente previsto para 2012, foi publicado em 2014. Somente em 2015 foi concluído o processo de seleção de cerca de duzentos institutos, entre os novos e os já existentes. Estes INCTs congregam os melhores grupos de pesquisa em áreas de fronteira da ciência e em áreas estratégicas para o desenvolvimento do país e estão contribuindo para tornar a nossa pesquisa científica e tecnológica mais competitiva internacionalmente.

O financiamento de projetos de pesquisa e de infraestrutura também era feito pela Finep com recursos do FNDCT, primordialmente com seleção de propostas através de editais do FNDCT/Fundos Setoriais. Enquanto o CNPq repassava recursos a indivíduos, com compromissos firmados por meio de termos de concessão, a Finep financiava instituições por meio de convênios. Entre os editais destacam-se aqueles que fazem parte do Programa de Modernização da Infraestrutura (Proinfra) das ICTs, financiado com recursos do CT-Infra, que passou a fazer parte do calendário das universidades e entidades de pesquisa do país, com edital lançado em dezembro de cada ano, para selecionar propostas em maio-junho. Desde 2006 os editais do Proinfra selecionaram centenas de propostas que tiveram grande impacto na melhora e expansão das instalações de pesquisa de universidades e entidades públicas do país.

As ações do Pacti e da Encti foram decisivas para a formidável expansão da comunidade científica, que era insignificante em 1960 e ultrapassou 180 mil pes-

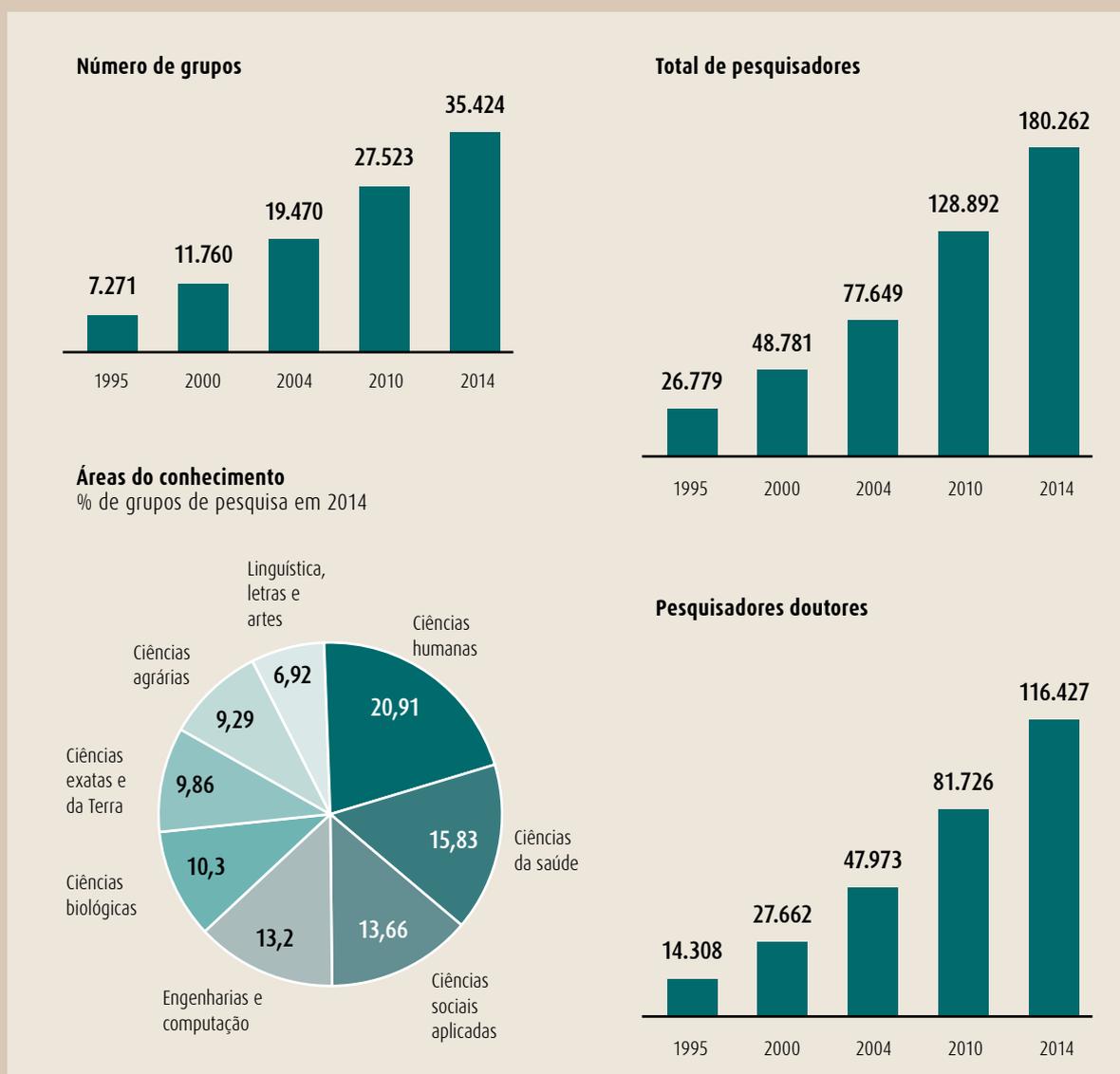
quisadores em atividade em 2014, como mostra a Figura 4. Destes, mais de 116 mil são doutores. Vale frisar, entretanto, que o nosso número de pesquisadores por habitante ainda é baixo: cerca de um por mil habitantes, o que corresponde à metade da proporção nos países industrializados. Continuar a expandir o número de pesqui-

sadores é um dos grandes desafios do país na próxima década.

Apesar do grande avanço da ciência, a inovação tecnológica nas empresas brasileiras ainda é tímida. Segundo o IBGE, das 70 mil empresas industriais existentes em 2005 somente 3% tinham introduzido um produto novo no mercado. Menos de 5% dos pesqui-

adores brasileiros atuam em empresas. Esta situação decorre da falta de cultura de inovação no ambiente empresarial e da pouca articulação das políticas industrial e de C&T. Até 2005, o principal instrumento para apoiar a inovação nas empresas era a linha de crédito da Finep com juros de TJLP mais 5%.

Figura 4 Dados sobre números de grupos de investigação y de investigadores del directorio de grupos de investigación del CNPq (2014)



Promover a inovação tecnológica nas empresas passou a ser a principal prioridade comum da Política de Desenvolvimento Produtivo, do Pacti e depois da Enciti. Os instrumentos criados a partir da Lei de Inovação, aprovada em 2004, e da Lei do Bem, de 2005, possibilitaram um novo cenário para a inovação nas empresas, com um amplo leque de instrumentos para estimular a criação de novas empresas baseadas em tecnologia, as *start-ups*. A subvenção econômica, prevista na Lei de Inovação, administrada pela Finep, viabilizou que recursos não reembolsáveis pudessem ser concedidos às empresas inovadoras por meio de três programas: edital nacional da Finep, Programa de Apoio à Pesquisa em Empresas (Pappe) e Programa Primeira Empresa Inovadora (Prime), os dois últimos em parceria com os estados.

Os editais nacionais de subvenção passaram a ser anunciados anualmente a partir de 2006, voltados para diferentes áreas tecnológicas, sendo priorizados os setores mais diretamente vinculados com a PDP, como biotecnologia, nanotecnologia, TICs, TV digital, fármacos e medicamentos, energias renováveis e aeroespacial. Por meio da operação com parceiros estaduais, o Pappe aportou recursos financeiros nas pequenas e médias empresas para o desenvolvimento de atividades de inovação em setores importantes para o desenvolvimento local. Por outro lado, o Prime, que entrou em operação no início de 2009, concedeu subvenção econômica para *start-ups*.

Além das operações não reembolsáveis, já assinaladas, a Finep passou a conceder apoio à inovação nas empresas por meio de ope-

rações reembolsáveis, a saber: Programa de Incentivo à Inovação nas Empresas Brasileiras (Inova Brasil) e Juro Zero. Substituindo o antigo Pró-Inovação, o Inova Brasil constitui-se em financiamento com encargos reduzidos para a realização de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação nas empresas brasileiras, como suporte à PDP.

O Programa Nacional de Apoio às Incubadoras de Empresas e Parques Tecnológicos (PNI), criado em 2004, foi outra importante iniciativa para promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação nas micro e pequenas empresas, estimulando a instalação e consolidação de incubadoras de empresas e parques tecnológicos. Os parques tecnológicos, por sua vez, são complexos de desenvolvimento econômico e tecnológico que fomentam e promovem sinergias em pesquisas científicas e tecnológicas e na inovação entre as empresas e instituições científicas e tecnológicas, públicas e privadas, com forte apoio institucional e financeiro dos governos federal, estadual e municipal, da comunidade local e do setor privado. Finalmente, para completar o leque de



**Os cortes nos
orçamentos do CNPq
e da Capes têm
diminuído o número
e o valor das bolsas
disponíveis.**

programas de apoio à P&D nas empresas, há o Programa RHAE–Pesquisador na Empresa, uma ação do CNPq para prover bolsas para pesquisadores, mestres e doutores, atuarem nas empresas.

Para fomentar a interação universidade–empresa, o governo federal implantou o Sistema Brasileiro de Tecnologia (Sibratec), formado por três grandes redes: inovação, serviços tecnológicos e extensão tecnológica. O Sibratec – coordenado pelo MCT, mas com a participação ativa de vários ministérios e entidades federais, como Finep, BNDES e Inmetro, além do Sebrae – selecionou por meio de editais mais de uma centena de propostas de cooperação universidade–empresa. Para consolidar o processo iniciado com o Sibratec, em 2011 o governo criou a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), que, inspirada no papel da Embrapa, tem a missão de acelerar o processo de inovação industrial, articulando o sistema nacional de P&D com as empresas. Ainda há um longo caminho a ser percorrido nesse setor, mas é certo que passos importantes têm sido dados na direção correta e há sinalizações claras de que muitos empresários vêm incorporando gradativamente o conceito de inovação nas suas agendas de investimentos.

Enquanto as prioridades I e II do Pacti tinham caráter transversal, pois cobriam todas as áreas do conhecimento e setores da economia, a prioridade III (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em Áreas Estratégicas) era voltada para o desenvolvimento de treze áreas estratégicas:

1. Áreas portadoras de futuro: biotecnologia e nanotecnologia;
2. Tecnologias da informação e comunicação (TICs);
3. Insumos para a saúde;
4. Biocombustíveis;
5. Energia elétrica, hidrogênio e energias renováveis;
6. Petróleo, gás e carvão mineral;
7. Agronegócio;
8. Biodiversidade e recursos naturais;
9. Amazônia e semi-árido;
10. Meteorologia e mudanças climáticas;
11. Programa espacial;
12. Programa nuclear;
13. Defesa nacional e segurança pública.

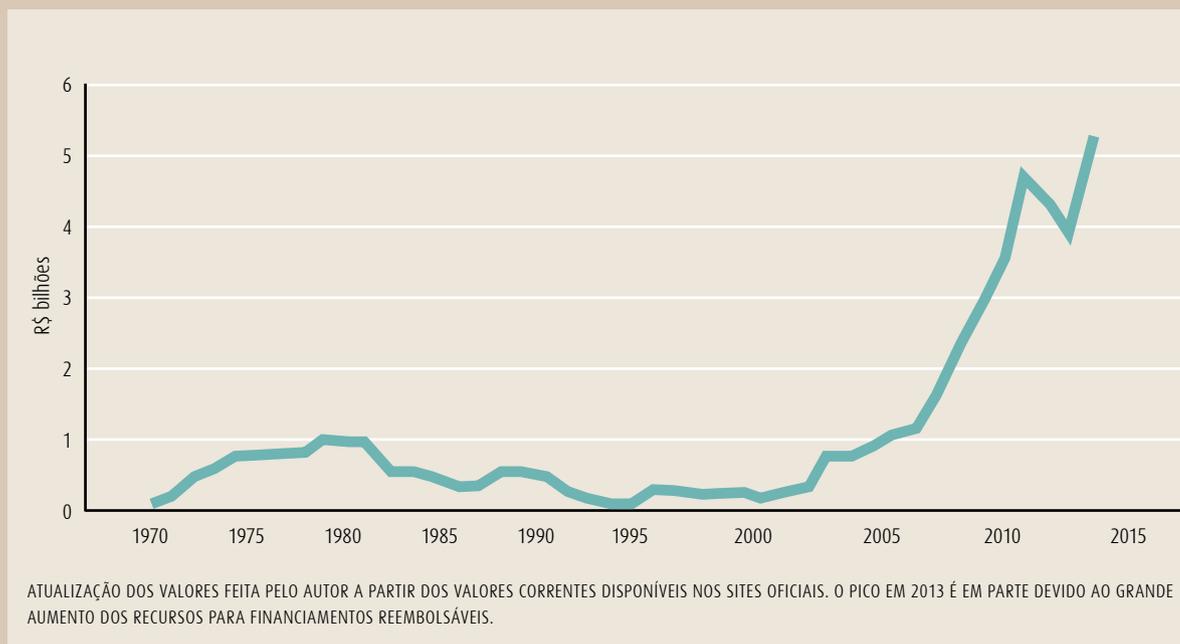
No âmbito das TICs o principal resultado foi a retomada do desenvolvimento na microeletrônica. Esta área, estratégica por conta de sua transversalidade em todos os setores industriais, foi praticamente abandonada nas políticas de C&T e industrial da década de 1990. O Programa Nacional de Microeletrônica, implantado em 2003, foi consolidado com a expansão do CI-Brasil, programa que está formando centenas de projetistas de circuitos integrados em dois centros de treinamento e dezoito centros e *design houses* em todo o país, e com a criação da empresa pública Centro Nacional de Tecnologia Eletrônica Avançada (Ceitec S.A.), em Porto Alegre, vinculada ao MCT. A Ceitec foi implantada em 2008, com investimentos do MCT superiores

a R\$ 800 milhões (de 2017), para construir, adquirir e instalar equipamentos para um centro de projetos e uma fábrica de circuitos integrados, a primeira da América do Sul.

Entre os avanços conquistados na área de biocombustíveis merecem destaque a implantação da Rede de Bioetanol e a criação em 2010 do Centro de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), instalado no *campus* do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, atualmente Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, com objetivo de contribuir para manter a liderança brasileira na produção sustentável de bioetanol da cana-de-açúcar. Também deve ser destacada a criação da Rede Brasileira de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas, instituída pelo MCT em 2007, com o objetivo de gerar e disseminar conhecimento e tecnologia para que o Brasil possa responder às demandas e desafios representados pelas causas e efeitos das mudanças climáticas globais e embasar políticas brasileiras de prevenção, adaptação e mitigação.

Nos resultados da Prioridade IV do Pacti os principais destaques foram a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia e a Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas. A Semana, realizada desde 2004, é a principal iniciativa de popularização da ciência e tem contado com mobilização crescente em todo o país. Durante a Semana, em geral a segunda ou terceira do mês de outubro de cada ano, entidades de ensino e/ou pesquisa promovem atividades de divulgação da

Figura 5 | Evolução histórica da execução financeira do FNDCT, em R\$ milhões constantes, corrigidos pelo IPCA média anual



ciência, em suas instalações ou em espaços públicos.

Outro programa importante e que alcançou grande êxito foi a Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas (Obmep), criada em 2005. Naquele ano a Obmep contou com a participação de cerca de 10 milhões de estudantes e desde então o número de inscritos tem aumentado continuamente. Desde 2010 a Obmep tem tido de 17 milhões a 19 milhões de alunos inscritos, em escolas que se localizam em cerca de 95% dos municípios brasileiros, tornando-se um grande programa mobilizador do ensino de matemática. Ele já tem impacto na melhora do ensino de ciências nas escolas públicas.

Contribuiu para o aumento dos recursos federais para CT&I no período 2003–2010 o notável crescimento dos desembolsos pelo

Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), como mostra a Figura 5. Este crescimento resultou não apenas do aumento das receitas dos fundos setoriais, mas também da decisão do presidente Lula de eliminar gradualmente seu contingenciamento, medida praticada pela área econômica desde a criação dos fundos, e que não ocorreu em 2010. Infelizmente, o contingenciamento do FNDCT voltou a ser praticado nos anos seguintes. Como mostra a Figura 5, os valores desembolsados em 2011 e 2012 caíram em relação a 2010. O pico verificado em 2013 é de certa maneira artificial, pois cerca de R\$ 2 bilhões foram alocados ao FNDCT para empréstimos da Finep às empresas, e não para financiamentos não reembolsáveis, como em outros anos.

A ampliação dos recursos federais para C,T&I, associada aos inúmeros programas articulados com os estados, estimulou e viabilizou o aumento gradativo dos investimentos estaduais. Por outro lado, as medidas legais e iniciativas voltadas para incentivar as atividades de P&D e inovação nas empresas levaram a um substancial aumento nos seus dispêndios em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e inovação. Como resultado, os dispêndios nacionais em P&D, somados os investimentos públicos (federal e estaduais) com os das empresas privadas, apresentou um crescimento contínuo e substancial no período 2003–2013. Os dispêndios em P&D em relação ao produto interno bruto (PIB), que historicamente no Brasil foram inferiores ou da ordem de 1%, alcançaram 1,24% em 2013. Con-

tudo, esta taxa ainda é muito baixa quando comparada com as dos países industrializados, que estão na faixa de 3% a 5% do PIB.

Retrocessos recentes no sistema federal de C,T&I e desafios para o futuro

Apesar das históricas dificuldades políticas, econômicas e sociais, nas últimas quatro décadas o Brasil construiu a maior e mais qualificada comunidade científica e tecnológica da América Latina, com mais de 120 mil pesquisadores com doutorado. A competência científica e tecnológica nacional ainda não contribuiu de maneira mais abrangente para o nosso desenvolvimento, mas há inegáveis exemplos de sucesso quando a área de C&T contou com recursos e oportunidades, com apoio contínuo do governo federal.

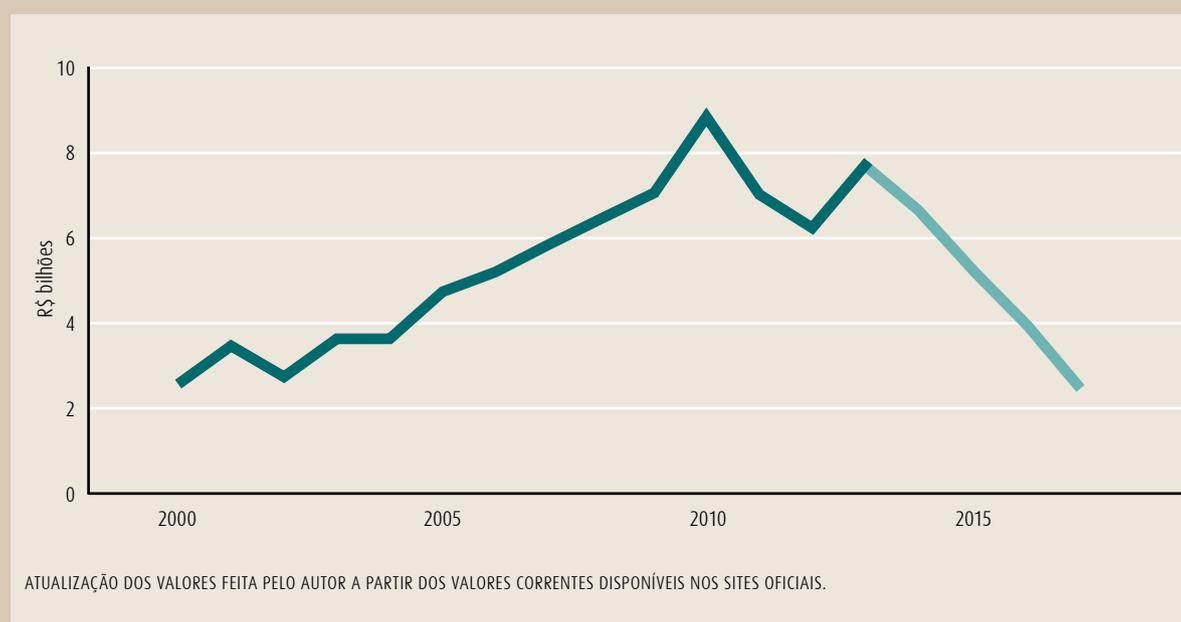
Os mais notáveis são a tecnologia de exploração de petróleo em águas profundas, dominada pela Petrobras, que possibilitou ao país alcançar a autossuficiência em petróleo; o projeto e a fabricação de aeronaves modernas pela Embraer; a liderança mundial na pesquisa do agronegócio pela Embrapa; o domínio do ciclo completo de produção de urânio enriquecido para alimentar as usinas nucleares. Pela primeira vez na história do nosso país, em muitas áreas da ciência e da tecnologia há uma “densidade de competências” suficiente para contribuir de forma decisiva para a realização de ambiciosos projetos de desenvolvimento com conhecimento nacional.

Tal quadro animador, construído nas últimas quatro décadas, está ameaçado pelo enorme retrocesso recente no sistema federal de C,T&I. Com a troca frequente de ministros

do MCTI – foram cinco nos últimos cinco anos –, houve mudanças de prioridades e descontinuidades em muitos programas. O FNDCT voltou a ser contingenciado, e praticamente todas rubricas do orçamento do MCTI sofreram cortes. Para agravar o quadro, o governo que assumiu em maio de 2016, após o golpe parlamentar, fundiu o Ministério da Ciência com o das Comunicações, praticamente decretando sua extinção. Com isso, todo o sistema de C,T&I foi relegado a um nível baixo na hierarquia do governo federal, acarretando novos cortes nos orçamentos de todas instituições do sistema federal. A forte queda recente no orçamento do MCTI aparece na Figura 6.

Os cortes nos orçamentos do CNPq e da Capes têm levado a uma gradual diminuição no número de bolsas, cujos valores não foram reajustados desde 2008. Es-

Figura 6 | Evolução do orçamento executado do Ministério de C,T&I, em R\$ milhões constantes, corrigidos pelo IPCA média anual



tas agências também não conseguem regularizar as liberações para os cursos de pós-graduação e os diversos programas de pesquisa, como INCT e Pronex. O programa Ciência Sem Fronteiras, criado em 2011, foi extinto em 2016. Desde que chegou ao pico de R\$ 5,8 bilhões em 2013, o valor executado do FNDCT caiu nos anos seguintes para R\$ 3,3 bilhões, R\$ 1,6 bilhão, R\$ 1,8 bilhão, chegando em 2017 a apenas R\$ 1,7 bilhão. Esta queda fez a Finep atrasar a liberação de recursos para os projetos aprovados nos diversos editais. Até recentemente ela não tinha liberado recursos para os projetos aprovados no edital de 2014 do Proinfra.

Este quadro de dramáticos cortes orçamentários tem gerado fortes protestos de entidades da comunidade de C&T, notadamente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e da Academia Brasileira de Ciências (ABC). Elas têm se manifestado publicamente, alertando o governo federal, o Congresso Nacional e a sociedade sobre os riscos para o futuro do país. Em 2017, num movimento inédito, 23 vencedores do Prêmio Nobel enviaram uma carta ao presidente da República, manifestando preocupação com os cortes nos orçamentos de C&T e alertando para os riscos que eles representam. Em outro movimento inédito, em 2018 os presidentes da Capes e do CNPq foram a público manifestar sua preocupação com os orçamentos previstos para 2019, contendo cortes mais profundos que, se concretizados, causarão o cancelamento de dezenas de milhares de bolsas.

O retrocesso recente no quadro de C&T mostra que o maior desafio do setor no Brasil continua sendo a falta de políticas de Estado. Mudam governos e com eles mudam as prioridades, tornando difícil manter programas e ações, mesmo os mais exitosos. Como dizia Celso Furtado “o subdesenvolvimento não é uma simples fase de transição ao desenvolvimento, mas um fenômeno mais permanente, cuja superação exige uma dedicação política tenaz e prolongada”.

Como vimos, o Brasil tem apenas cerca de um pesquisador por mil habitantes. Para que C,T&I se tornem efetivos componentes do nosso desenvolvimento econômico e social será necessário aumentar o número de bolsas de estudos e de pesquisa, expandir a comunidade de pesquisa, melhorar a qualidade da produção científica e a formação de pessoal em todos os níveis, básico, superior e pós-graduado.

Também será preciso aumentar muito a pesquisa industrial e fazer com que a inovação tecnológica entre definitivamente no processo produtivo das empresas. Na outra ponta, de baixo para cima, será importante intensificar os programas de apoio às incubadoras tecnológicas e parques tecnológicos, para aumentar o número de *start-ups*, de pequenas e médias empresas inovadoras, e criar uma nova geração de empresários empreendedores em tecnologia.

Não menos importante, será necessário intensificar as ações e iniciativas de C,T&I para o grande público; melhorar a educação em todos os níveis e, em particular, o ensino de ciências nas escolas, para atrair talentos que de-

É preciso revogar a Emenda Constitucional 95, chamada Lei do Teto, ou promover sua alteração radical, para recuperar a capacidade de investimento do Estado, com 2% do PIB destinados a atividades relacionadas a ciência, tecnologia e inovação.

monstrem potencial para se desenvolver como inventores, cientistas, pesquisadores e empreendedores; e expandir com qualidade a distribuição geográfica da ciência.

O quadro atual de C,T&I torna as eleições presidenciais deste ano decisivas para o futuro do Brasil. Por conta disso, a SBPC dirigiu aos candidatos à Presidência um conjunto de propostas:

1. Recriar o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, inteiramente destinado a esta área, para atuar articulado com os órgãos de CT&I estaduais e municipais e, em especial, as Fundações de Amparo à Pesquisa, que estão em grave crise;
2. Revogar a Emenda Constitucional 95 (a chamada Lei do Teto) ou promover sua alteração radical;
3. Impedir o contingenciamento do FNDCT, promover a recuperação paulatina dos recursos já contingenciados e fazer uso adequado e acompanhamento permanente de todos

os fundos públicos de apoio a atividades de pesquisa e desenvolvimento;

4. Recuperar os níveis orçamentários de investimento em CT&I ao valor máximo do período 2009-2014;
5. Estabelecer a meta de investir 2,0% do PIB em recursos para P&D nos próximos anos, com um planejamento efetivo para alcançar a meta;
6. Apoiar e fortalecer os programas e instrumentos essenciais à C&T, como os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), o edital universal e o Programa de Infraestrutura da Finep (Proinfra), bem como a consolidação e modernização de centros nacionais de equipamentos multiusuários;
7. Cumprir os acordos internacionais em andamento na área científica e apoiar a participação do Brasil nos grandes programas internacionais de pesquisa que forem julgados adequados para o país;
8. Nos níveis federal, estadual e municipal, promover a efetiva aplicação do novo marco legal de CT&I e o seu aprimoramento, a partir da avaliação de seu funcionamento. Remover ou aperfeiçoar outras legislações que dificultem a realização de pesquisas científicas e tecnológicas;
9. Elaborar um plano nacional de CT&I, com prioridades conectadas com as grandes questões nacionais, e estabelecer projetos mobilizadores nacionais, em articulação com uma política industrial moderna e com o apoio a processos e investimentos em inovação nas empresas. O Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (CCT) deve ser o órgão articulador desse plano, que precisa destacar o papel decisivo das estruturas estaduais e regionais de CT&I;
10. Melhorar a qualidade da educação em todos os níveis, em particular a educação científica, com a valorização salarial e simbólica do professor da educação básica; promover a utilização de metodologias de ensino baseadas na investigação e no uso adequado de política de cotas;
11. Disseminar o estabelecimento de gestões públicas que levem em conta os resultados provenientes do conhecimento científico, respeitem o meio ambiente e promovam a inovação e a inclusão sociais;
12. Promover a defesa da soberania nacional em questões estratégicas como a Petrobrás, a explo-

ração do pré-sal, as fontes de energia solar e eólica, a indústria aeronáutica nacional, a política espacial brasileira e o marco civil da Internet.

Mantido o conjunto de fatores que caracterizam o cenário atual do país, essas metas são coerentes e factíveis. Elas sinalizam a possibilidade de se alcançar um novo padrão de desenvolvimento na próxima década, tendo C,T&I como elementos essenciais para o desenvolvimento sustentável do Brasil. ■

Notas

1. Para o triênio 1996/7/8, o Diretório de Grupos do CNPq contava com um total de 32 mil doutores, dos quais somente 3.114 estavam engajados em projetos no âmbito do Pronex.
2. O portfólio de Fundos se mantém, atualmente, muito próximo ao de 2002, tendo sido acrescido por mais dois Fundos Setoriais.
3. A primeira Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia, realizada em 1985, objetivou ampliar a participação da sociedade brasileira na definição de uma política científico-tecnológica para o país. A 2ª. Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia, realizada em 2001, enfatizou a importância da inovação tecnológica como instrumento para a competitividade passando, inclusive, a agregar o termo “inovação” em seu nome (www.cgce.org.br).

Bibliografia

- David C. Mowery e Nathan Rosenberg, *Trajetórias da inovação: a mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX*, Editora Unicamp, Campinas (2005).
- Erik S. Reinert, *Como os países ricos ficaram ricos...e por que os países pobres continuam pobres*, Editora Contraponto, Rio de Janeiro (2008).
- Luiz Antonio Elias, “Política de ciência, tecnologia e inovação 2003-2016”, *Teoria e Debate*, Rio de Janeiro (2017).
- Plano de ação em ciência, tecnologia e inovação: principais resultados e avanços*, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília (2010).
- Sergio M. Rezende, *Momentos da ciência e tecnologia no Brasil: uma caminhada de 40 anos pela C&T*, Editora Vieira&Lent, Rio de Janeiro (2010).
- Sergio M. Rezende, “Produção científica e tecnológica no Brasil: conquistas recentes e desafios para a próxima década”, *RAE FGV-SP*, v. 51, n. 2, 202-209 (2011).
- Steven J. Markus (org.), *Inventando um futuro melhor*, InterAcademy Council, Rio de Janeiro (2005).

O papel da

Embrapa

no desenvolvimento e na sustentabilidade da agricultura brasileira



**Antonio Flavio
Dias Avila**

Agrônomo, doutor em economia rural, pesquisador da Embrapa. O autor agradece a Roberto Penteado e Wilson Fonseca, editores do Balanço Social da Embrapa, e aos pesquisadores Elísio Contini e Alberto Santana pelos comentários e sugestões.

Pesado investimento em recursos humanos, com amplo programa de pós-graduação no Brasil e no exterior, explica o êxito da Embrapa, que hoje conta com 2.438 pesquisadores, 86% deles com doutorado. Trata-se do maior programa de capacitação em ciências agrárias nos trópicos. Graças aos investimentos em ciência e tecnologia agrícola, o Brasil quintuplicou a produção de grãos entre 1975 e 2017, enquanto a área agricultável apenas dobrou. Fizemos melhoramento genético das principais culturas, incluindo soja, trigo, feijão, milho, algodão, arroz, frutas e hortaliças. Trabalho semelhante melhorou a qualidade das carnes bovina, de frango e suína. Tudo isso contribuiu tanto para a balança comercial do país quanto para reduzir os preços dos alimentos vendidos no mercado interno.





A criação da Embrapa e seu modelo

A proposta de criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi aprovada pela Lei nº 5.851, de 7 de dezembro de 1972, e sua instalação ocorreu em 26 de abril de 1973. Ela foi criada como empresa pública de direito privado, em substituição ao Departamento Nacional de Pesquisa e Experimentação Agrícola (DNPEA), vinculado diretamente ao Ministério da Agricultura. A opção pelo modelo de empresa pública – órgão da administração indireta – foi adotada para dar maior flexibilidade, eficiência e autonomia

em relação ao antigo DNPEA, em especial para a captação de recursos e o manejo de recursos humanos e financeiros (Cabral, 2005).

Logo foram tomadas as medidas estruturais indispensáveis para o funcionamento da empresa, destacando-se a criação do modelo institucional e de seu sistema de planejamento. Também foram definidas a estrutura, as funções e as atribuições de suas unidades em âmbito nacional, com seus três tipos de centros de pesquisa (produtos, temáticos e ecorregionais) e suas unidades de serviços. Ficou estabelecido o seu papel como unidade coordenadora dos sistemas estaduais de pesquisa agropecuária.

A implantação da Embrapa contou com apoio dos centros internacionais de pesquisa agrícola, vinculados ao Consórcio CGIAR, e de agências internacionais, como o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e a Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), além do decisivo apoio financeiro por meio de empréstimos do Banco Mundial (BIRD) e do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

Duas iniciativas foram fundamentais na concepção institucio-



nal: a adoção de um modelo concentrado de pesquisa e a formação de recursos humanos. Outros componentes estiveram presentes, como proximidade em relação ao setor produtivo, flexibilidade administrativa e financeira, transparência e cooperação com outras organizações públicas e privadas. Nesse contexto, a empresa buscou direcionar esforços para produtos e áreas importantes para o suprimento de alimentos aos brasileiros. Experiências anteriores, no país e no exterior, mostravam que a dispersão de recursos humanos e financeiros em regiões, produtos e temas de pesquisa produziam resultados limitados.

A Embrapa investiu maciçamente na capacitação de seus recursos humanos nos principais centros de excelência em pesquisa agropecuária, especialmente no exterior. Esse treinamento trouxe a necessária capacidade institucional de formar redes internacionais de pesquisa, além de gerar ou adaptar tecnologias para o país e suas regiões. Tudo isso levou o Brasil à liderança mundial no desenvolvimento de soluções tecnológicas para a agricultura tropical (Embrapa, 2006).

A cultura de planejamento

Um elemento importante da trajetória da Embrapa é o fato de a instituição haver cultivado, desde o início, uma cultura de planejamento que se consolidou com o tempo. Isso foi fundamental para a empresa estabelecer prioridades em suas primeiras décadas, tanto para contratar, formar e alocar pesquisadores, quanto para modernizar e ampliar a infraestrutura de laboratórios e áreas experimentais.

Além dos estudos que fundamentaram a criação da Embrapa, durante as duas primeiras décadas vários documentos orientaram o estabelecimento de uma programação sólida de pesquisa e desenvolvimento (P&D), tendo em vista atender às demandas da sociedade brasileira. Em todos os documentos de planejamento elaborados nesse período estavam presentes prioridades nacionais e regionais, essenciais para a implantação da empresa.

Nos últimos vinte anos, essa cultura se consolidou com a adoção de um novo processo de planejamento estratégico, baseado em

estudos prospectivos e de cenários. O primeiro estudo de cenários para a pesquisa foi elaborado no final da década de 1990 com a assessoria da Fundação Instituto de Administração (FIA), da Universidade de São Paulo (Ayres *et al.*, 1990), essencial para a preparação do II Plano Diretor da Embrapa (PDE), relativo ao período 1993-1997 (Embrapa, 1994).

No início da década de 1990, a Embrapa, após duas décadas de estudos centrados em estimativas de taxas de retorno, passou a ser questionada, externa e internamente, sobre os outros tipos de impacto de sua atuação, com destaque para os ambientais e os sociais. Essas novas demandas surgiram, principalmente, a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO 92), realizada no Rio de Janeiro, e da disseminação no Brasil de um novo tipo de documento usado na prestação de contas à sociedade, denominado Balanço Social, com foco em efetividade (uso/adoção e impactos dos resultados).

Ao buscar atender essas novas demandas socioambientais no contexto do II PDE, a empresa decidiu reformular seu processo de gestão do desempenho corporativo. Na segunda metade da década de 1990, desenvolveu o Sistema de Avaliação e Premiação por Resultados da Embrapa – SAPRE (Embrapa, 1996). Tal sistema inovou ao introduzir um processo sistemático de avaliação, vinculando-o ao desempenho das equipes e dos empregados e, portanto, aos processos de reconhecimento e recompensa, com destaque para a premiação por resultados.

A Embrapa divulga uma vez por ano um balanço social do seu trabalho, com estudos de impacto econômico, social, ambiental e institucional. Um sistema de planejamento integrado abarca desde a formulação de estratégias de longo prazo até as agendas individuais de cada um dos colaboradores.

No critério eficácia, a avaliação de desempenho institucional desse sistema incluiu um conjunto diversificado de indicadores, como cumprir metas estratégicas, captar recursos, melhorar processos e racionalizar custos. Além disso, foram introduzidos indicadores de avaliação de desempenho institucional baseados em critérios de eficiência (produção *versus* custos) e de efetividade (adoção e impactos). Desde então, os resultados da avaliação de desempenho institucional passaram a alimentar o processo subsequente de premiação de equipes e empregados, sendo determinantes para estabelecer o montante de recursos usado na premiação dos colaboradores (Portugal *et al.*, 1998).

Ainda na década de 1990 surgiu outro marco importante na melhora da gestão: a decisão da Embrapa de adotar o Balanço Social entre seus documentos anuais de prestação de contas e divulgação à sociedade, com foco nos indicadores de efetividade (Embrapa, 2018a). Com o advento do Balanço Social, publicado uma vez por ano, os estudos de impacto, além de atenderem às necessidades do SAPRE, passaram a ter maior visibilidade. Essa iniciativa contribuiu para estimular as equipes e, sobretudo, melhorar a qualidade das avaliações das tecnologias geradas pela empresa.

No contexto dessas inovações gerenciais da década de 1990, decorrentes do SAPRE e do Balanço Social, cabe ainda salientar o esforço, realizado na década seguinte, para ampliar o escopo das avaliações de impacto. Até então, elas só destacavam os impactos econômicos. Na primeira metade da década de 2000 a instituição incorporou outros indicadores de efetividade no processo de avaliação de impacto (ambiental, social, institucional), passando de um enfoque unidimensional para um multidimensional, consolidado em metodologia única, usa-

da desde então como referência na empresa (Avila *et al.*, 2008).

A existência de uma cultura de planejamento consolidada e de um sistema de avaliação e premiação por resultados, com o compromisso de elaborar anualmente seu Balanço Social, tem sido essencial para a Embrapa. Graças a isso, ela se firmou como uma empresa de conteúdos e soluções requeridas pelos arranjos e as cadeias produtivas de base agropecuária, capacitada a atender os objetivos governamentais e setoriais.

Em 2014, o processo de avaliação de desempenho foi reformulado. O Conselho de Administração (Consad) da empresa estabeleceu o modelo integrado de avaliação de desempenho institucional, programático e de equipes, denominado Integro, que entrou em operação em 2015 (Embrapa, 2014a).

Processos até então tratados de maneira independente foram integrados: gestão de planos estratégicos, desempenho institucional, programação de pesquisa e de suporte, gestão de pessoas e dos processos de reconhecimento e recompensa, monitoramento da adoção e avaliação de impactos. Graças ao Integro, hoje a Embrapa consegue gerenciar seu planejamento corporativo, desde a formulação da estratégia até a execução das agendas individuais de cada um de seus colaboradores.

Na mesma época, o contexto institucional e a multiplicidade de temas abarcados impuseram que a empresa construísse um sistema de inteligência estratégica, o Agropensa, que organiza e permite analisar dados e informações relevantes à pesquisa agropecuária. O principal produto dessa iniciativa foi a elaboração do documento “Visão 2014/34: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira” (Embrapa, 2014b). Essa iniciativa se dobrou na publicação de outro docu-

mento similar, denominado “Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira” (Embrapa, 2018b).

Esse novo processo de inteligência, liderado pelo Agropensa, permitiu fundamentar melhor os planos estratégicos da empresa. O VI Plano Diretor da Embrapa (PDE) foi montado com base no primeiro documento Visão. O mesmo deverá ocorrer na atualização do VII PDE, em 2019, a partir da recente publicação do documento Visão 2030.

A grande inovação no atual processo de planejamento estratégico da Embrapa é a sua gestão integrada, que nos últimos anos está vinculada à programação de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) e a ações de gestão e suporte. Respalhada em modernos instrumentos de gestão da informação e inteiramente gerenciada na lógica da transformação digital, a Embrapa atingiu um novo patamar na gestão da estratégia e do desempenho corporativo.

Essa ampla integração de processos, decorrente de seu modelo de gestão de desempenho (Integro), aliada a outras melhorias introduzidas nos demais instrumentos de gestão (Ideare/Sisgp, gestão de projetos, e Gestec, gestão de ativos tecnológicos, entre outros), resultou em ganhos substanciais de eficácia, eficiência e efetividade tanto institucional (unidades) quanto programática (macroprogramas, portfólios e arranjos),¹ sobretudo de suas equipes e colaboradores.

O monitoramento integrado do planejamento e do desempenho, feito em todas as instâncias da empresa, tem assegurado que a administração superior e todos os gestores tenham uma visão clara do papel e das contribuições de cada um ao planejamento corporativo e, portanto, ao atendimento das demandas formuladas no plano estratégico. O desempenho da empresa nos últimos anos, detalhado nos relatórios de prestação de contas submetidos

aos órgãos de controle, como o Relatório de Gestão, atesta o sucesso dessa gestão integrada da estratégia e do desempenho.

Recursos humanos e infraestrutura

Um dos maiores desafios enfrentados pela Embrapa, especialmente em sua primeira década de existência, foi superar as várias limitações apontadas pelo grupo de trabalho que avaliou a situação da pesquisa agropecuária no âmbito do DNPEA e propôs a criação da nova empresa. Nessa época, entre as questões prioritárias estava o

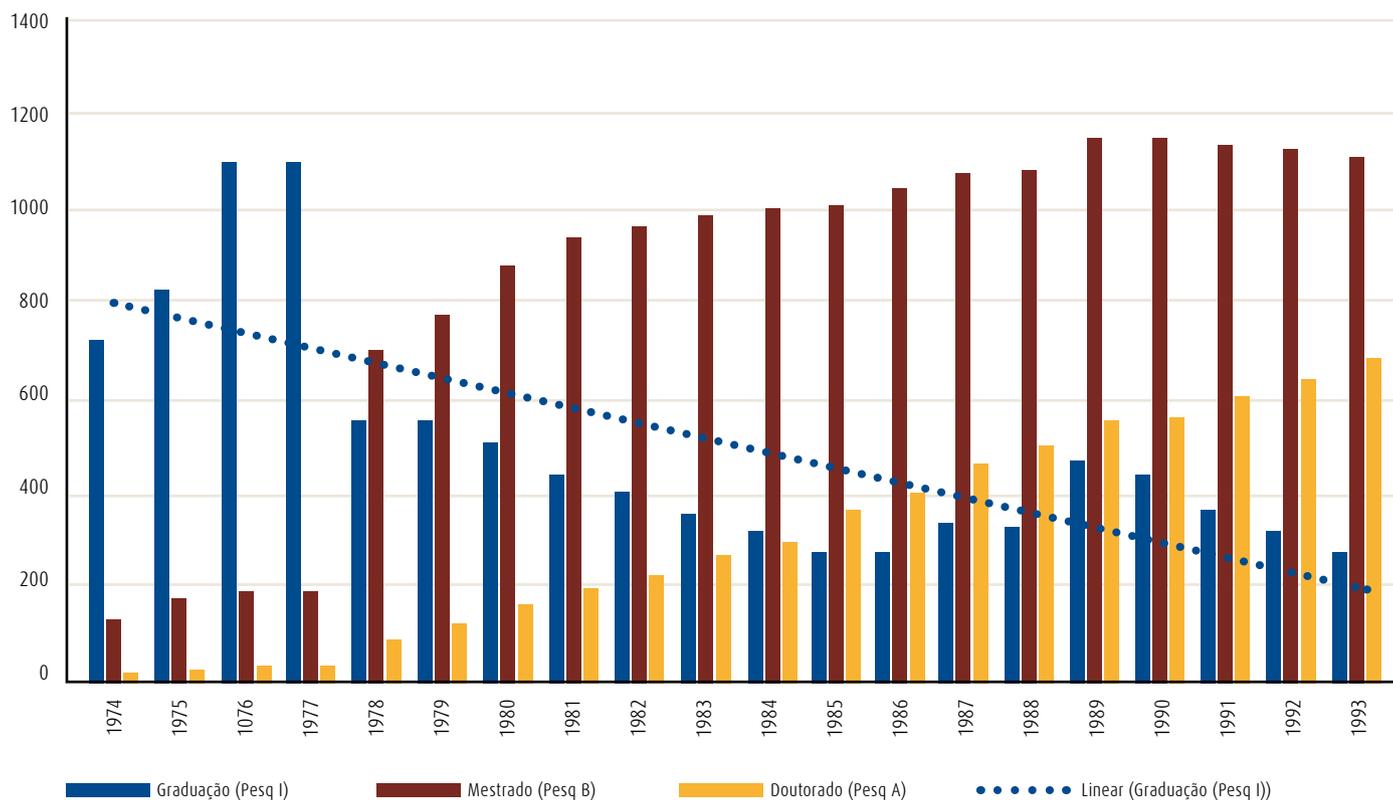
tema dos recursos humanos. Havia uma escassez acentuada de pessoal com perfil de liderança e de servidores com treinamento especializado, principalmente em cursos de pós-graduação. Além disso, não existia uma política salarial atrativa para o pessoal envolvido com pesquisa agropecuária (Embrapa, 2006).

Nesse contexto, graças ao forte apoio financeiro do governo federal, incluindo empréstimos internacionais do Banco Interamericano e do Banco Mundial, a Embrapa implantou um amplo programa de capacitação em nível de pós-graduação, no Brasil e no ex-

terior, envolvendo as melhores universidades do mundo em ciências agrárias e sociais. O programa foi um sucesso. Logo permitiu inverter as estatísticas sobre a formação dos pesquisadores, que em meados da década de 1970 se caracterizava pelo pequeno número de pós-graduados.

Conforme os dados apresentados na Figura 1, a situação dos recursos humanos da Embrapa inverteu-se completamente em vinte anos. No início da década de 1990 já predominavam pesquisadores com mestrado e se evidenciava um crescimento expressivo de pesquisadores com doutorado.

Figura 1 | Evolução da formação acadêmica dos pesquisadores da Embrapa - 1974-1993



Esse processo prossegue até hoje, com foco na formação de doutores e de pós-doutores. Atualmente, 45 anos após a sua criação, a empresa conta com 2.438 pesquisadores, dos quais 86,3% com doutorado e outros 13% com mestrado.

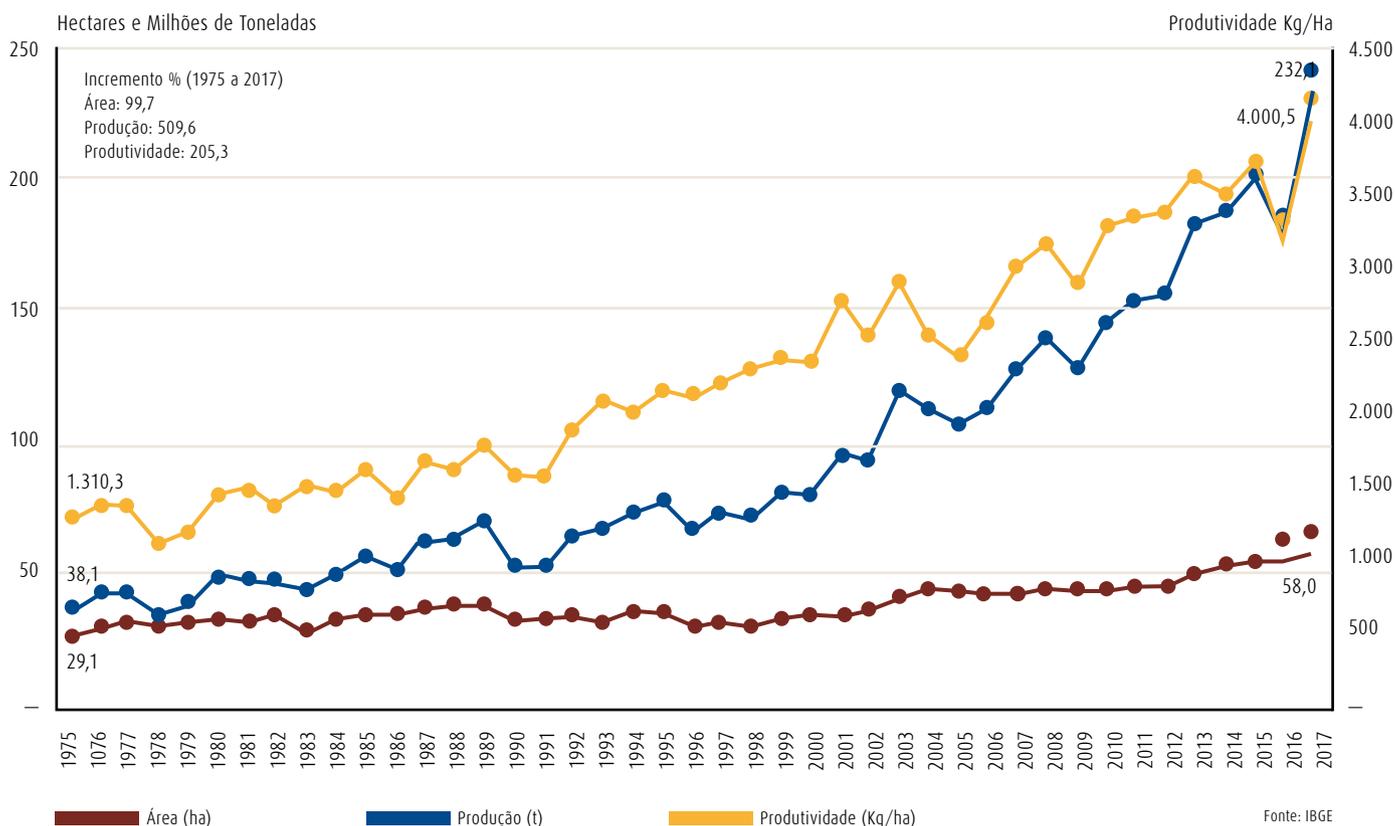
Essa decisão estratégica, de investir maciçamente na formação de pesquisadores, criou o maior programa de capacitação em ciências agrárias nos trópicos. O programa foi decisivo para que a Embrapa assumisse a atual posição de líder da pesquisa agropecuária em agricultura tropical, entre os países em desenvolvimento.

Paralelamente aos investimentos em recursos humanos, a Embrapa investiu na implantação e modernização da infraestrutura de pesquisa, inicialmente também muito limitada. Graças a empréstimos fornecidos pelo Banco Interamericano e o Banco Mundial, aliados a fortes contrapartidas do governo federal, foi instalada uma ampla rede de centros pesquisas.

Mais recentemente, outras fontes de financiamento têm apoiado a empresa no aperfeiçoamento de centros e laboratórios, tanto para evitar a obsolescência tecnológica, quanto para manter o padrão internacional de qualidade de suas pes-

quisas. Destacam-se nesse contexto o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e as fundações estaduais de fomento à pesquisa. Cabe citar também o grande volume de recursos do Tesouro Nacional, liberados para modernizar laboratórios e criar novos centros de pesquisa em regiões de fronteira (Mato Grosso, Tocantins e Maranhão) e na área de pesquisa em agroenergia. Esse investimento se concentrou no período 2008–2012 e foi chamado de PAC Embrapa.

Figura 2 | Evolução da produção, da área e da produtividade dos grãos no Brasil



A evolução da produtividade e seus impactos

Na análise dessa trajetória, um dos fatos marcantes tem sido o papel central da Embrapa no crescimento da produtividade da agricultura brasileira. Graças aos investimentos feitos em C&T pelo governo federal, o Brasil quintuplicou a produção de grãos no período 1975–2017, enquanto a área agricultável crescia pouco mais de 100% (Figura 2).

Na produção de grãos, o grande destaque, sobretudo nas primeiras décadas de atuação da Embrapa, foi a contribuição ao melhoramen-

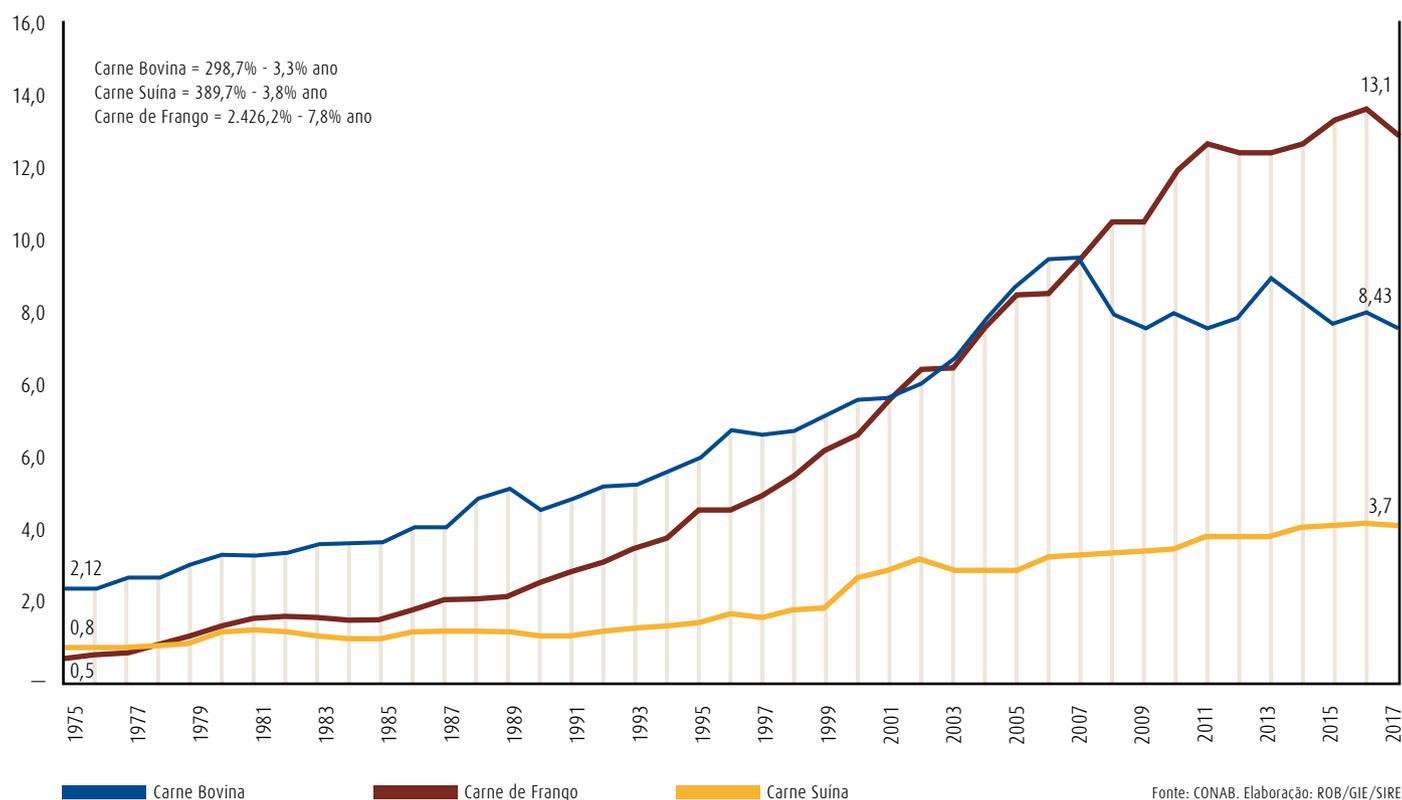
to genético das principais culturas, em especial soja, trigo, feijão, milho, algodão e arroz. Esse trabalho, realizado em parceria com organizações estaduais de pesquisa agropecuária e com o setor privado, gerou ganhos de produtividade não só em grãos e fibras, mas também em frutas e hortaliças. Esses ganhos podem ser visualizados no vertiginoso crescimento observado nos últimos quarenta anos. Eles colocaram o Brasil entre os maiores players no mercado mundial de commodities agrícolas.

Esse crescimento exponencial também ocorreu na área de carnes bovina, de frango e suína, no mes-

mo período, como mostra a Figura 3. Os números demonstram altas taxas de crescimento na produção, com valores anuais superiores a 3% nas carnes bovina e suína e de cerca de 8% ao ano na produção de carne de frango.

Os ganhos no setor de carnes e derivados se refletem na balança comercial do país. Na última década, os superávits anuais têm superado os US\$ 70 bilhões, fortemente associados aos altos investimentos em C&T na pecuária nacional. As principais contribuições tecnológicas da Embrapa ocorreram em nutrição, sanidade animal e manejo.

Figura 3 | Evolução da produção de carne bovina, de frango e suína no Brasil



Obtida por melhoramento convencional ou por biotecnologia, a biofortificação de alimentos aumenta o conteúdo nutricional de micronutrientes, como vitamina A, zinco e ferro, em cultivares de feijão, mandioca e milho.

Esse expressivo crescimento da produção e da produtividade da agricultura e da pecuária, verificado ao longo das últimas décadas, teve um impacto agregado importantíssimo para a sociedade brasileira, com a redução nos preços da cesta básica, como aparece na Figura 4.

Caso se mantivesse a situação de escassez e de importação de alimentos vivida pelo Brasil nas décadas de 1960 e 1970, os preços dos alimentos estariam hoje em um patamar muito mais elevado. Embora essa redução não se deva apenas à atividade de pesquisa – pois houve outros atores importantes no processo –, é possível afirmar que parte expressiva desses benefícios sociais pode ser atribuída às soluções tecnológicas geradas pela Embrapa e seus parceiros. As

parcerias internacionais estão estreitamente associadas à capacitação recebida pelos nossos pesquisadores nas melhores universidades do mundo, além da cooperação científica inerente à área de P&D.

Casos de sucesso da Embrapa

Inúmeros casos de sucesso marcam a trajetória da Embrapa nos últimos 45 anos. Talvez o maior deles tenha sido a incorporação do Cerrado à economia brasileira. No portal da instituição na Internet há uma farta documentação de suas principais contribuições.² Destacaremos algumas, especialmente as que têm gerado maiores impactos e constam anualmente no Balanço Social da Empresa (Embrapa, 2017, 2018b). Também serão destacadas as contribuições da Embrapa na formulação de políticas públicas.³

Destaques em PD&I

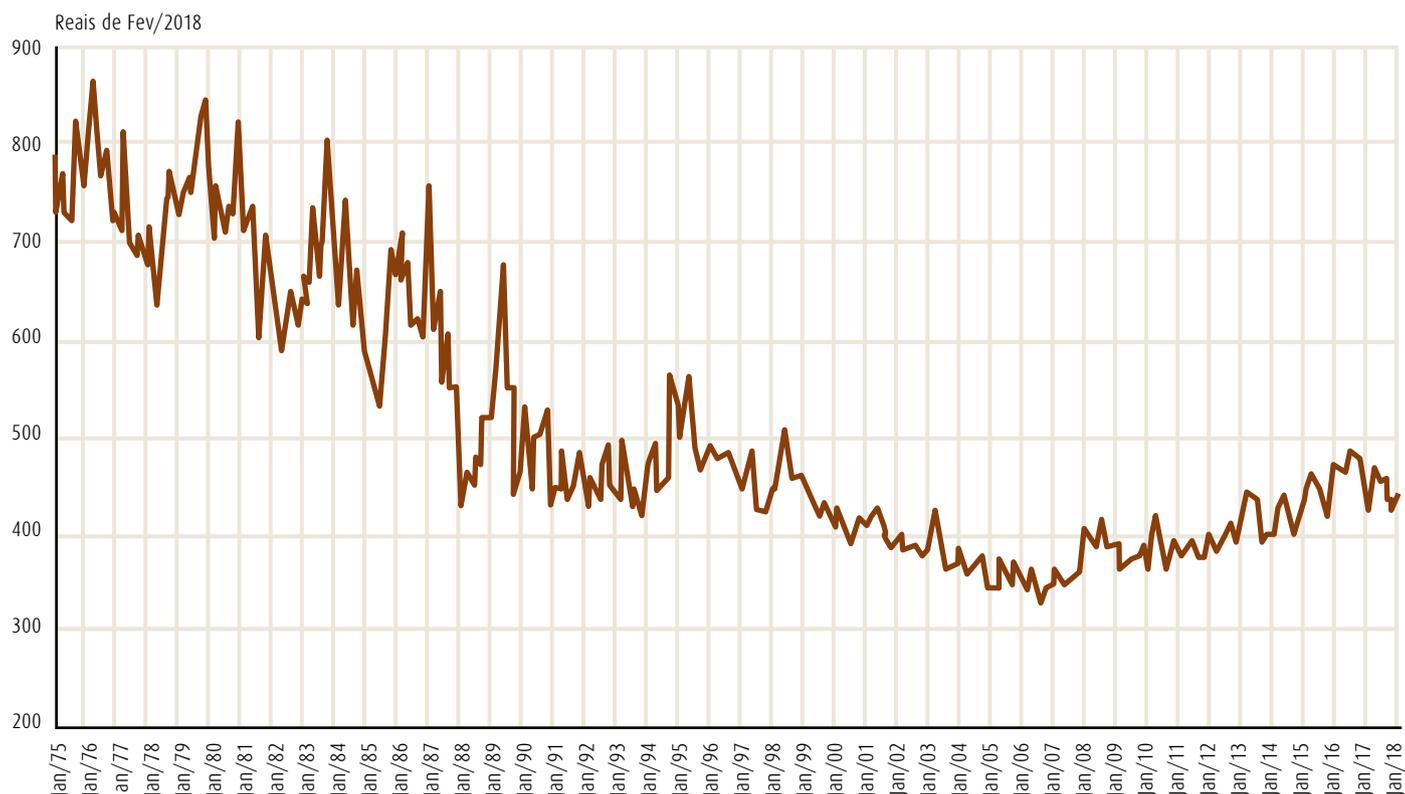
A Embrapa tem dado contribuições relevantes em pesquisa agroindustrial, entre as quais se destaca a melhora na qualidade dos produtos relacionados à biofortificação de alimentos, processo usado para aumentar o conteúdo nutricional de micronutrientes, como vitamina A e minerais específicos (zinco e ferro). Esses ganhos nutricionais, introduzidos em cultivares que os produtores já usam, como feijão, mandioca e milho, são obtidos tanto pelo melhoramento convencional de plantas como pela biotecnologia.

Na pesquisa com fibras merece destaque a contribuição da Embrapa aos produtores de algodão,

com o aporte de novas variedades em uso nas regiões algodoeiras do país, em especial no estado de Mato Grosso. Outro destaque foi a disponibilização de cultivares de algodão colorido, que apresentam tonalidade variada, propiciando que pequenos produtores, especialmente no Nordeste, agreguem valor à produção. Além disso, a tecnologia gera renda para a indústria têxtil e contribui para varejistas ofertarem artigos diferenciados de vestuário e moda.

Por meio da pesquisa e da adoção do manejo florestal sustentável, o Brasil tem contribuído fortemente para modificar a exploração tradicional e predatória de suas florestas. Neste caso, a Embrapa também tem colaborado para que o setor alcance elevados níveis de produtividade com sustentabilidade. Entre os exemplos dessa contribuição se encontra o Modelflora, um sistema capaz de fornecer a localização exata das árvores em seu ambiente, com a apresentação de detalhes do relevo e da hidrografia, além de outras informações essenciais para o manejo correto da floresta. Nessa mesma linha têm sido desenvolvidos aplicativos de manejo e gerenciamento de plantios florestais em apoio a produtores e técnicos de todo o Brasil.

A Embrapa também tem participado decisivamente na geração de inovações tecnológicas em fruticultura. Entre as diversas contribuições está o intenso trabalho de domesticação de espécies nativas, como o guaranazeiro, com ganhos importantes em termos de produção e de resistência às doenças. Na produção de caju, o de-

Figura 4 | Preço da cesta básica no Município de São Paulo (Reais de Fev/2018*) – Jan/1975 Fev/2018

Fonte: Dieese. Elaboração: ROB/GIE/SIRE *Valores corrigidos pelo IGP DI

envolvimento de novos clones de cajueiro-anão precoce possibilitou viabilizar economicamente a produção, mesmo em condições adversas de clima.

Outro exemplo marcante na área de fruticultura foi a disponibilização de tecnologias que possibilitaram ao Brasil produzir uvas até mesmo no Semiárido e colher duas safras de mangas. Também merece destaque o tratamento hidrotérmico da manga, que gerou ganhos de mais de R\$ 1,4 bilhão em exportações nos últimos 25 anos.

Na produção de hortaliças, cujo mercado é bastante diversi-

ficado, a Embrapa contribuiu para melhorar os sistemas de produção das principais espécies – batata, tomate, melancia, alface, cebola e cenoura – em que a agricultura familiar é responsável por mais da metade da produção. Ciente de seu papel nesse segmento, a instituição também desenvolveu uma nova cultivar de tomate-cereja, a BRS Zamir, com alto teor de licopeno, que já está presente em 10% da área plantada dessa variedade no Brasil. Além disso, introduziu no país uma técnica chinesa de produção de cogumelos cultivados por pequenos agricultores, com importantes im-

pactos positivos em sua produção e consumo no país.

Na área de grãos houve um crescimento expressivo da produção e da produtividade. A Embrapa e seus parceiros tiveram participação decisiva no melhoramento genético das cultivares dos principais grãos produzidos no país – arroz, feijão, milho, soja, trigo e sorgo –, em aperfeiçoamento dos sistemas de controle de pragas e doenças e na geração de novas e mais eficientes práticas de manejo. A título de exemplo, cabe ressaltar o papel decisivo da pesquisa da Embrapa na produção da soja em áreas tropicais, antes

limitada às regiões temperadas. Mais recentemente, surgiram significativos e inovadores ganhos na produção do trigo, com a geração e introdução de cultivares adaptadas às condições do Cerrado. Outra contribuição relevante da Embrapa é na geração de cultivares de cevada, adotadas pela maioria dos produtores brasileiros.

A empresa tem buscado contribuir para o incremento da produção de alimentos com responsabilidade ambiental. Destacam-se as tecnologias geradas para reduzir o uso de agroquímicos, como o manejo integrado de pragas e o uso do controle biológico, como os biopesticidas que combatem pragas do milho sem afetar o ambiente. Na mesma linha, têm sido disponibilizadas cultivares mais resistentes ao déficit hídrico, como o clone de caju resistente à

seca, que tem propiciado substanciais aumentos de renda no Semiárido do Piauí.

Ainda para conciliar produção de alimentos e perspectiva ambiental, a empresa vem colocando novas práticas de manejo, sustentáveis, à disposição dos produtores, como aquelas de produção da castanha-do-brasil em florestas naturais da Amazônia.

Além de propiciarem a conservação do ambiente, as tecnologias da Embrapa têm melhorado as condições de vida dos produtores, especialmente os mais pobres, com saneamento básico. Este é o caso da fossa séptica biodigestora, que une ganhos ambientais e retornos econômicos robustos. No contexto do Semiárido destacam-se as tecnologias que permitem melhor convivência com a seca, como é o caso das cisternas e tecnologias afins.

Um dos destaques em termos de inovação tecnológica tem sido a pecuária brasileira. Houve uma intensa modernização do setor, com incremento da produção e da produtividade em bases sustentáveis. Além da Embrapa, muitas instituições produzem inovações para a pecuária – em genética, na nutrição e no controle de pragas e doenças. Elas têm aumentado o desfrute do rebanho bovino de corte. A contribuição da empresa foi mais decisiva em algumas áreas, como no caso das pastagens: cinco de suas cultivares de forrageiras são responsáveis por quase 80% do mercado nacional, transformando o Brasil no maior exportador de sementes forrageiras tropicais do mundo.

As pesquisas da Embrapa também contribuíram para desenvolver animais com menor percen-



Os biopesticidas combatem as pragas do milho sem afetar o ambiente, enquanto novos cultivares tornam o caju mais resistente à seca, expandindo sua presença no Semiárido nordestino.

tual de gordura, que hoje representam o padrão do rebanho nacional. Ainda no tocante à pecuária, destaca-se a duplicação da produção anual de leite nos últimos vinte anos. Esse aumento ocorreu não apenas com a expansão do rebanho, mas também com o incremento da produtividade, graças à incorporação de novas tecnologias.

Nesse contexto de melhora do processo de produção, umas das grandes contribuições da empresa foi o sistema integrado de produção de grãos, pecuária e floresta (ILPF), desenvolvido nas décadas de 1980 e 1990 para integrar pecuária e grãos. Tendo incorporado o componente florestal a partir de 2000, em 2016 a nova técnica já era adotada em 11,5 milhões de hectares (Embrapa 2017) e hoje supera os 15 milhões de hectares segundo a rede ILPF.

Transferência de tecnologias e conhecimentos

As tecnologias da Embrapa chegam até os extensionistas e produtores rurais por intermédio de diversas iniciativas, que envolvem dias de campo e caravanas por todo o Brasil.

Elas abarcam temáticas amplas, com componentes complementares nas áreas de validação e transferência de tecnologia, além de contemplarem o fortalecimento de parcerias interinstitucionais, a capacitação de profissionais como multiplicadores e captadores de recursos, e a veiculação de programas de rádio e televisão.

Ainda no âmbito da transferência de conhecimentos, em seu portal na Internet a Embrapa garante acesso aberto à informação, como o Acesso Livre à Informação Científica da Embrapa (Alice), que é o oitavo mais acessado entre os 51 repositórios científicos brasileiros. Outra estratégia tem sido a elaboração e veiculação, pela mídia, de vídeos técni-

cos e programas como o Prosa Rural, difundido gratuitamente em mais de 9 mil rádios no país, e o programa Dia de Campo na TV, cuja audiência atinge 5,7 milhões de telespectadores.

Na mesma linha, Schulz (2018), professor da Unicamp, aponta a Embrapa como a 11ª do ranking das 144 instituições governamentais brasileiras em produção científica. No critério citações por artigo, o mesmo autor destaca que a Embrapa apresentou uma média de 11,27, no período 2009-2013, ressaltando a importância das parcerias internacionais, em especial aquela com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, que tem uma média de 42,42 citações por artigo.

Participação na formulação de políticas públicas

Em adição aos destaques tecnológicos citados e à sua atuação na transferência de tecnologia, a Embrapa tem participado na formulação e implementação de leis, decretos, instruções normativas, planos e programas nos âmbitos internacional, nacional, regional, estadual e municipal. Tal participação, recentemente documentada pela empresa e publicada nos Balanços Sociais de 2014 e 2015, evidenciou contribuições em mais de uma centena de políticas públicas, demonstrando que o impacto do trabalho vai muito além dos efeitos de tecnologias no aumento da produtividade, na geração de empregos, na diminuição de custos ou na agregação de valor nos setores produtivos, tradicionalmente medidos.

Entre as contribuições mais recentes da Embrapa às políticas públicas se encontram: (a) o Plano de Agricultura de Baixo Carbono para reduzir a emissão de gases de efeito estufa pelo setor agropecuário (Plano ABC); (b) o Sistema de Controle da Pesca, voltado para a

sustentabilidade do Pantanal; (c) o Sistema de Licenciamento Ambiental, que agiliza o atendimento nos estados, inclusive no que diz respeito às exigências do novo Código Florestal; (d) a Política Pública de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); (e) a Delimitação do Matopiba,⁴ que abriu caminho para implantar políticas públicas na região; e (f) o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc).

O lucro social da Embrapa

Embora produza bens e serviços privados, passíveis de venda no mercado, a principal função social da Embrapa é gerar bens e serviços de caráter público. Os beneficiários não pagam pelas vantagens que auferem por usá-los, ao contrário do que acontece com a pesquisa privada.

As instituições públicas, especialmente aquelas dedicadas à pesquisa agropecuária, como a Embrapa, podem gerar lucros com a venda de produtos (sementes, mudas, animais, etc.), serviços (análises de laboratório e de solo, mapas, etc.) ou mesmo patentes (equipamentos, máquinas, etc.), mas eles só cobrem uma pequena parte dos custos.

Quando analisada sob a perspectiva contábil e financeira, essa ausência de lucro às vezes é interpretada como prejuízo. Mas ela é contrabalanceada pelos benefícios sociais que essas instituições propiciam. Há lucro social na medida em que bens e serviços gerados por instituições de ciência e tecnologia são adotados com sucesso por clientes e usuários, com os benefícios econômicos, sociais e ambientais associados. Com esse saldo positivo, uma eventual dependência do Tesouro Nacional ou Estadual é amplamente compensada.

Esse conceito de lucro social, usado pela Embrapa na elaboração de seu Balanço Social desde 1997, refere-se aos

benefícios socioeconômicos gerados anualmente, comparados com a receita operacional líquida da empresa. A estimativa decorre do acompanhamento e medição dos impactos de uma amostra de bens e serviços públicos colocados à disposição da sociedade. Esse monitoramento continuado e sistemático dos impactos já dura mais de duas décadas e mostra saldos sociais positivos todos os anos. Por meio dele, a Embrapa tem demonstrado que cumpre sua função social.

Desde a década de 1980 a Embrapa realiza estudos para estimar os retornos sociais de sua atuação, ou seja, os impactos econômicos gerados pela adoção de suas tecnologias, produtos e serviços (receita adicional líquida gerada). No início, esses estudos procuraram estimar a taxa interna de retorno dos investimentos realizados, relacionando-se os benefícios econômicos em certo período com os custos das tecnologias geradoras de tais benefícios (Avila *et al.*, 2005, por exemplo). A partir dos estudos iniciais, dezenas de trabalhos foram realizados nas décadas de 1980 e 1990, envolvendo técnicos da própria Embrapa e consultores, nacionais e internacionais. Os resultados obtidos indicaram taxas de retorno da ordem de 30% a 40%, evidenciando que os recursos aplicados na empresa foram compensadores para a sociedade brasileira. As taxas são similares aos resultados de estudos de avaliação do retorno dos investimentos em pesquisa agropecuária realizados em outras partes do mundo (Alston *et al.*, 2000).

Com a publicação do Balanço Social, elaborado a partir de me-

todologia difundida pelo Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas (Ibase) a partir de 1997, a Embrapa passou a monitorar os impactos de uma amostra de 115 tecnologias incorporadas às cadeias produtivas da agricultura brasileira, bem como de cultivares geradas por ela e seus parceiros e usadas pelos produtores, sobretudo nos casos do algodão, arroz, feijão, milho, soja e trigo.

Diversas iniciativas, que envolvem rádio, televisão, internet, dias de campo e caravanas, levam as tecnologias da Embrapa até os extensionistas e os produtores rurais, atingindo milhões de usuários em todas as regiões do país.

Esse monitoramento de benefícios e custos, pioneiro no mundo em instituições de C&T, tem permitido à empresa estimar seu lucro social (impactos econômicos mais os valores dos indicadores sociais e laborais) em cada ano e relacioná-lo à sua receita operacional anual.

Os resultados mais recentes, publicados no Balanço Social de 2017,

demonstram um lucro social de R\$ 37,18 bilhões. Quando se relaciona tal lucro com a receita operacional líquida da Embrapa, a relação é de 11,06. Isso indica que, considerando apenas a receita anual e os benefícios sociais em uma amostra de soluções tecnológicas disponibilizadas para a sociedade, o retorno anual foi superior a onze vezes o investimento.

Quando se usa o indicador tradicional de análise de rentabilidade de investimentos, que é a taxa interna de retorno (TIR), os resultados também evidenciam alto retorno social. Atingiu 36,1% a TIR estimada com base na série temporal de benefícios econômicos dos produtos da Embrapa. Esta taxa de retorno social refere-se aos retornos médios dos investimentos realizados na geração de tecnologias monitoradas e avaliadas desde 1997.

Além do lucro social, há outras formas mensurar a contribuição da Embrapa para a sociedade. Em sua missão de gerar e disseminar conhecimento, a empresa se destaca como a oitava instituição brasileira em volume de produção científica, segundo a base de dados internacional Web of Science. Além disso, os artigos científicos produzidos pela Embrapa receberam mais de 33 mil citações nos últimos cinco anos, o que evidencia seus impactos no avanço do conhecimento.

Outra evidência de impacto pode ser constatada nas publicações técnico-científicas disponibilizadas pela Embrapa na Internet. Em 2017, os controles de acesso a seus repositórios registraram 24,5 milhões de *downloads*, realizados principalmente por agentes públicos e pri-

vados de assistência técnica e extensão rural e por produtores rurais. Considerando o período de 2011 a 2017, o total de *downloads* de publicações da empresa atingiu 74,9 milhões.

Em relação ao meio ambiente, são várias as contribuições relevantes da empresa nos últimos anos, graças à adoção de suas tecnologias. Levando-se em consideração apenas os casos mais emblemáticos, que fazem parte do Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) – a adoção da fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura da soja e o sistema integrado de produção lavoura-pecuária-floresta (ILPF) –, a redução das emissões de carbono na safra 2016–2017 foi da ordem de 65 milhões de toneladas de carbono equivalente, com a FBN contribuindo com 30 milhões e o ILPF com 35,1 milhões (Embrapa, 2018a).

Caso sejam incluídas outras tecnologias que fazem parte do Programa ABC, como a recuperação de pastagens degradadas e o sistema de plantio direto, esses ganhos ambientais são ainda maiores. As tecnologias da Embrapa e de seus parceiros geram impactos ambientais positivos, contribuindo para que o Brasil supere em larga escala os compromissos internacionais assumidos na Conferência das Partes (COP), que é o órgão supremo no âmbito da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), para reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

Há inúmeras evidências, mensuradas e documentadas de diversas formas, de que a Embrapa é um caso de sucesso na administração pública brasileira, considerando-se os impactos econômicos, sociais e ambientais. A instituição cumpre a função de gerar bens públicos que compensem os investimentos que recebe. ■

Notas

1. Os macroprogramas, portfólios e arranjos são figuras programáticas que têm sido usadas pela Embrapa para agrupar os seus projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação.
2. - <https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira?link=acesso-rapido>.
3. - <http://bs.sede.embrapa.br>.
4. Acrônimo das iniciais dos estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA).

Referências

- ALSTON, J. M.; CHAN-KANG, C.; MARRA, M. C.; PARDEY, P. G.; WYATT, T. J. “A meta-analysis of rates of return to agricultural R&D: ex pede herculem?” Washington, DC: International Food Policy Research Institute, c2000. 148p. (Research Report, 113).
- AVILA, A. F. D.; MAGALHÃES, M. C.; VEDOVOTO, G.; IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, G.S. “Avaliação dos impactos das tecnologias geradas pela Embrapa”. Revista de Política Agrícola. v. 15, p. 86 -101, 2005.
- AVILA, A. F. D.; RODRIGUES, G.S.; VEDOVOTO, G. Avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: metodologia de referência. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2008, 189p.
- CABRAL, J. I. Sol da manhã: memória da Embrapa. Brasília, Unesco, 2005. 344p.
- AYRES, C.H.S.; ARAÚJO, J.D.; PAEZ, M.L.A. (Ed.) Cenários para a pesquisa agropecuária: aspectos teóricos e aplicação na Embrapa. Brasília: Embrapa. Secretaria de Administração Estratégica, 1990. 153p.
- _____. Secretaria de Administração Estratégica. II Plano Diretor da Embrapa: 1994-1998. Embrapa/SEA, Brasília, DF, 1994, 51 p.
- _____. Gabinete do Presidente. Resolução Normativa N° 50/96: manual do sistema de avaliação e premiação por resultados. Embrapa, Brasília, DF. 1996 (Boletim de Comunicações Administrativas. BCA - No. 59/1996).
- _____. Sugestões para a formulação de um sistema nacional de pesquisa agropecuária. Memória Embrapa: Edição Especial. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. 2006. 122p.
- _____. Gabinete do Presidente. Resolução do Conselho de Administração N° 145: manual de normas da Embrapa – modelo integrado de gestão de desempenho da Embrapa: institucional, programático e de equipes. EMBRAPA, Brasília, DF. 2014a (Boletim de Comunicações Administrativas. BCA - No. 35/2014).
- _____. Visão 2014-34: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2014b. 194p.
- _____. Secretaria de Gestão e Desenvolvimento Institucional. VI Plano Diretor da Embrapa: 2014-2034. Embrapa/SEA, Brasília, DF, 2015, 24 p.
- _____. Balanço Social 2016. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Desenvolvimento Institucional, 2017. 54p.
- _____. Balanço Social 2017. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Desenvolvimento Institucional, 2018a. 48p.
- _____. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018b. 212p.
- PORTUGAL, A. D.; AVILA, A. F. D.; CONTINI, E; SOUZA, G. S. “Sistema de avaliação e premiação por resultados da Embrapa”. Revista do Serviço Público. Brasília, DF. v. 49, n. 3 p.59 - 83, 1998.
- SCHULS, P. “Embrapa, os números antes do carro!” Jornal Unicamp, edição Web. 26/10/2018 (<http://www.unicamp.br/unicamp/ju/artigos/peter-schulz/embrapa-os-numeros-antes-do-carro>).

A contribuição da Marinha do Brasil

Novos materiais, ligas especiais, controle do espectro eletromagnético e domínio da tecnologia de enriquecimento de urânio são alguns desafios científicos e tecnológicos que a Marinha enfrenta, em estreita colaboração com universidades e empresas. Tudo isso compõe um sistema extenso e complexo, que a todos beneficia. Está em fase de detalhamento o projeto do primeiro submarino brasileiro movido a propulsão nuclear, construído em parceria com a França. Políticas de ciência e tecnologia e de defesa são inseparáveis.



Introdução

Ao longo de sua história, a Marinha do Brasil tem reconhecido o valor estratégico da ciência, da tecnologia e da inovação (CT&I) para a defesa e usado tais instrumentos para o seu aprimoramento tático e operacional com intensidade cada vez maior. A evolução no uso sistemático de CT&I para a capacitação de pessoal, o desenvolvimento de equipamentos e a obtenção de meios de emprego naval e de fuzileiros navais levou à formulação da “Estratégia

de ciência, tecnologia e inovação da Marinha”.¹

A elaboração dessa estratégia valeu-se da análise das estratégias nacionais de CT&I dos Estados Unidos, da França e do Brasil, bem como do estudo de vários documentos definidores de políticas públicas, como a “Estratégia nacional de defesa”,² por exemplo. As informações assim obtidas convergiram para definir um modo de atuação em CT&I, baseado no modelo de hélice tríplice,³ e de áreas temáticas de atuação que viessem a atender os interesses da Marinha.



Carlos Alberto Aragão de Carvalho Filho

Físico, professor-titular da UFRJ e do CBPF, ex-presidente do CNPq, membro-titular da Academia Brasileira de Ciência, assessor de articulação institucional da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade.



Guilherme da Silva Sineiro

Engenheiro químico, Capitão de Mar e Guerra do Corpo de Engenheiros da Marinha, ex-chefe do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento do Instituto de Pesquisas da Marinha, assessor de articulação institucional da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade.



O modelo simboliza a evolução dinâmica das interações entre academia, empresas e governo, por meio de espirais ascendentes. As interações ocorrem ao longo de toda a cadeia evolutiva pelo intercâmbio de ciência, tecnologia, pesquisa e desenvolvimento. O modo de atuação baseia-se em atividades de pesquisa e desenvolvimento em parceria com universidades, centros de pesquisa e institutos tecnológicos – as instituições científico-tecnológicas – e empresas, com especial atenção às tecnologias duais.

As diferentes etapas desse modo de atuação, mostradas na Figura 1,

Figura 1 | Etapas de desenvolvimento de tecnologias



envolvem diferentes combinações de parceiros, dependendo do grau de maturidade tecnológica (Technology Readiness Level – TRL) de cada etapa. A região demarcada como “zona de interação” também é conhecida como “vale da morte” tecnológico, pois a partir dela a maioria das tecnologias não consegue avançar para a maturidade e acaba sendo abandonada. A Marinha do Brasil tem dedicado especial atenção a tecnologias de seu interesse cujo TRL esteja situado nessa faixa, sob risco de nunca dispor delas.

Além de estabelecer as necessárias articulações institucionais na zona de interação do gráfico, envolvendo diferentes parceiros, o modo de atuação definido pela estratégia de CT&I também considera os recursos financeiros, principalmente pelo fato de que os tipos de financiamento disponíveis variam na medida em que aumenta o grau de maturidade tecnológica. As universidades interagem com as instituições de ciência e tecnologia da Marinha nas fases 1-3, dedicadas à pesquisa básica e/ou aplicada. As fases de 4-7, típicas de desenvolvimento tecnológico, envolvem essas instituições e empresas, estas últimas nas etapas de testes e prototipagem. Daí em diante, a produção em escala cabe às empresas. Há especial preocupação em alavancar a base industrial de defesa do país, usando todos os instrumentos e marcos legais de estímulo à inovação dos governos federal e estaduais, com foco em produtos, processos e serviços de interesse da Marinha.

Com relação ao conceito de áreas temáticas de atuação, criadas pa-

ra aglutinar diferentes linhas de pesquisa em torno de aplicações operativas de interesse, a Marinha estabeleceu as seguintes nomenclaturas, sem ordem de prioridade: (a) comando, controle, comunicações, computação, inteligência, vigilância e reconhecimento; (b) desempenho do combatente; (c) plataformas navais, aeronavais e de fuzileiros navais; (d) meio ambiente operacional; (e) química, radiológica e explosivos; (f) defesa e segurança cibernéticas; e (g) nuclear e energia.

A definição de uma moderna estratégia de CT&I acopla-se a um esforço de racionalização do uso dos recursos humanos e materiais da Marinha, esforço que resultou na criação da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM), englobando os setores nuclear e de ciência e tecnologia. Tal modificação organizacional foi precedida de um estudo das estruturas organizacionais de diversas instituições, como as demais forças armadas, a Petrobras, a Embraer, o Office of Naval Research (ONR, dos Estados Unidos) e a Direction Générale de l'Armement (DGA, da França).

Os setores nuclear e de projetos de submarinos da DGDNTM estão localizados no Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), parte no *campus* da Universidade de São Paulo (USP), parte no Centro Industrial Nuclear de Aramar (CINA), em Iperó, a 120km da capital. Na sede do CTMSP na USP encontram-se o Centro de Desenvolvimento de Submarinos (CDS), com seus escritórios de projetos, e a Diretoria de Desenvolvimento Nuclear da

A Marinha mantém escritórios permanentes de prospecção tecnológica em universidades públicas brasileiras, com as quais mantém parcerias muito importantes.

Marinha (DDNM), com seus laboratórios de testes.

No CDS, a tecnologia francesa de construção de submarinos é assimilada e posta em prática nos projetos; na DDNM, desenvolve-se o projeto do Laboratório de Geração de Energia Núcleo-Elétrica (LABGENE), cujas instalações estão sendo construídas em Aramar. O CINA abriga todo o enriquecimento de urânio e a produção de elementos combustíveis do ciclo do combustível nuclear. Para tanto, no CINA, encontram-se a Usina de Hexafluoreto de Urânio (USEXA), o Laboratório de Enriquecimento Isotópico (LEI), o Laboratório de Materiais (LABMAT) e o Laboratório de Testes de Equipamentos de Propulsão (LATEP), além do LABGENE.

As demais atividades de CT&I concentram-se no Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro (CTMRJ), composto de três institutos de pesquisa: o Centro de Análises de Sistemas Navais (CAS-Nav) e o Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), na cidade do Rio de Janeiro, e o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), em Arraial do Cabo.



TÂNIA REGO/AGÊNCIA BRASIL

Além dos dois centros, a DGDNTM incorpora a coordenadoria-geral do Programa de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear (COGESN) e a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ), a primeira incumbida da construção de um submarino com propulsão nuclear (SN-BR) e a segunda, de seu licenciamento e fiscalização. A DGDNTM também é responsável por dois programas estratégicos da Marinha e do país: o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB) e o Programa Nuclear da Marinha (PNM), programas de Estado, de enorme impacto tecnológico.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: na seção II apresentaremos alguns produtos de-

envolvidos nos centros tecnológicos da Marinha que têm sido testados e usados com êxito; na seção III abordaremos o PROSUB, que concluiu recentemente a construção de seu primeiro submarino convencional; na Seção IV descreveremos o PNM, desde a sua criação; e concluiremos com as considerações finais.

Projetos exitosos

Há vários projetos exitosos de CT&I da Marinha que são exemplos de uso do modelo “hélice triplíce”, por envolverem parcerias entre universidades, instituições de ciência e tecnologia da Marinha, empresas e setores governamentais. Deles, resultaram produtos – alguns comercializáveis – que

atenderam as demandas da Marinha do Brasil.

As parcerias com universidades têm sido muito importantes para a Marinha, que criou e mantém escritórios de prospecção tecnológica em quatro delas: UFRJ, UFF, FURG e USP. Com esta última, permanece vigente a mais antiga parceria com a academia, estabelecida há cerca de sessenta anos, com a criação do primeiro curso de engenharia naval do Brasil.

Entre os êxitos, o projeto de produção da fibra de carbono usada em ultracentrífugas, desenvolvido no CTMSP, tem especial importância. Por meio do desenvolvimento desses materiais baseados em carbono, as ultracentrífugas projetadas pela Marinha do Brasil podem operar com elevada efici-

ência e segurança. Graças ao domínio do processo de produção da fibra de carbono, as Indústrias Nucleares do Brasil (INB) já operam sete cascatas de ultracentrífugas fabricadas no país, fornecidas pela Marinha. O próprio CTMSP também usa esse material em suas cascatas para produzir o combustível do LABGENE e, futuramente, do submarino com propulsão nuclear (SN-BR), a ser construído no âmbito do PROSUB. O desenvolvimento de ligas especiais possibilitou a fabricação de diversas partes metálicas, usadas nas tecnologias nucleares empregadas no CTMSP.

O projeto de sensores para monitoramento do espectro eletromagnético e detecção/classificação de emissões de radar de embarcações e aeronaves (MAGE), desenvolvido pelo IPqM, dotou a Marinha de um sistema de vigilância do espectro eletromagnético que, instalado nos meios navais, confere capacidade de detectar diversos tipos de ameaça durante operações, como transmissões hostis e aproximação de mísseis guiados por radar. O MAGE “Defensor” está instalado a bordo de navios de escolta e permanece em constante evolução. A indústria brasileira recebeu a tecnologia para a construção do *hardware* e fornece os equipamentos para a Marinha do Brasil, que permanece responsável pelo *software* e a inteligência embarcada.

O projeto de materiais absorvedores de radiação eletromagnética para camuflagem de radar, também do IPqM, trouxe a possibilidade de diminuir a reflexão ao radar de partes da estrutura de

O Brasil desenvolveu uma tecnologia própria para monitorar áreas marítimas de interesse. Ela pode ser usada, por exemplo, em busca e salvamento, controle da pesca ilegal e combate ao tráfico.

navios, aumentando a furtividade deles. Desenvolvidos, inicialmente, sob a forma de tintas, esses materiais são produzidos no Brasil e fazem parte do esquema de pintura dos periscópios dos submarinos da classe Tupi, operados pela Marinha do Brasil. No IPqM, o desenvolvimento desses materiais prossegue com a busca de absorção em diferentes faixas do espectro eletromagnético e a veiculação em diferentes suportes, como placas e mantas elastoméricas, o que permitirá sua aplicação em estruturas com maiores dimensões.

O projeto de sistemas de controle tático para operações navais da família SICONTA, hoje em operação na Marinha do Brasil, nasceu do trabalho do IPqM. Seu desenvolvimento partiu de simuladores para treinamento tático dos alunos do Centro de Adestramento Almirante Marques de Leão (CAAML). Trata-se de um abrangente sistema de vigilância que

apresenta, ao operador, o quadro tático da área marítima onde está o meio naval, provendo consciência situacional marítima e permitindo a operação centrada em rede, quando as informações táticas são compartilhadas por mais de um navio. Além de resultar em transferência de tecnologia para a indústria brasileira, atual fornecedora do sistema para a Marinha do Brasil, o contínuo desenvolvimento do SICONTA permitiu que diversos produtos derivados fossem produzidos, como o Centro de Integração de Sensores e Navegação Eletrônica (CISNE) e o Sistema de Simulação Tática e Treinamento (SSTT), hoje em sua terceira versão. Esses sistemas podem operar interligados em tempo real.

O Sistema de Informações sobre o Tráfego Marítimo (SISTRAM) destina-se a acompanhar embarcações em áreas de interesse, podendo ser usado para diversos propósitos. É uma ferramenta desenvolvida pelo CASNAV para apoiar a tomada de decisão em operações de busca e salvamento (Search and Rescue – SAR), podendo ser usado na fiscalização da pesca ilegal e no combate à pirataria e ao tráfico de drogas e de armas. O SISTRAM é compatível com os demais sistemas existentes no mundo, permitindo rápida localização e acionamento de embarcações próximas em caso de emergência marítima. Sua flexibilidade permite alimentação de dados por várias fontes, conforme a rede de comunicação disponível. É composto de um visualizador georreferenciado, um módulo de gerenciamento e um módulo de análise de dados.

O IEAPM desenvolveu uma tinta anti-incrustante à base de biocida natural. O projeto foi iniciado com a coleta, identificação e extração de substâncias de organismos marinhos em Arraial do Cabo (RJ) e posterior teste de sua atividade anti-incrustante no laboratório e no campo, trabalho conjunto entre a Universidade Federal Fluminense (UFF) e o IEAPM. As substâncias com melhor desempenho foram selecionadas para serem sintetizadas em um laboratório da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O processo de produção já obteve uma patente nos Estados Unidos e a tinta está sendo produzida no Brasil, pela indústria nacional.

Como se pode observar, todos os projetos descritos beneficiaram-se da existência de uma comunidade científico-tecnológica, na Marinha e fora dela, e de uma base industrial brasileira. Esse é o resultado de anos de investimento em formação de quadros qualificados nas diversas áreas de CT&I.

O Programa de Desenvolvimento de Submarinos

A Marinha começou a operar submarinos em 1914. Os primeiros eram italianos, pois o país ainda não dispunha de tecnologia para construir esses complexos meios navais. Posteriormente, a Marinha operou submarinos americanos da classe Guppy e britânicos da classe Oberon.

A construção de submarinos no Brasil começou com o Programa de Reaparelhamento da Marinha (PRM), de 1979, que optou pelos IKL 209-1400 alemães. O Tupi, que dá nome a uma classe de submarinos, foi construído na Alemanha com a participação de engenheiros brasileiros que absorveram a tecnologia envolvida. Os demais submarinos dessa classe foram construídos no Brasil: Ta-

moio, Timbira e Tapajó. O Tikuna, construído na sequência, dá nome a uma classe por incorporar uma série de inovações propostas pelos engenheiros brasileiros. Todos continuam em operação.

Com a transferência da tecnologia alemã dos IKL, vários engenheiros da Marinha adquiriram a base necessária para projetar e construir submarinos, tarefa de alta complexidade tecnológica, como se pode ver no gráfico. Essa base permitiu que surgisse um projeto de desenvolvimento de duas classes de submarinos nacionais: S-NAC I (convencional) e S-NAC II (nuclear). Em 1990, por indisponibilidade de recursos, o programa S-NAC foi paralisado.

A dificuldade para construir um submarino nuclear aparece na figura 2.

A Figura não considera o processo de obtenção do combustível nuclear, cujo ciclo a Marinha do Brasil também precisou dominar, pois o material não é comercializado.

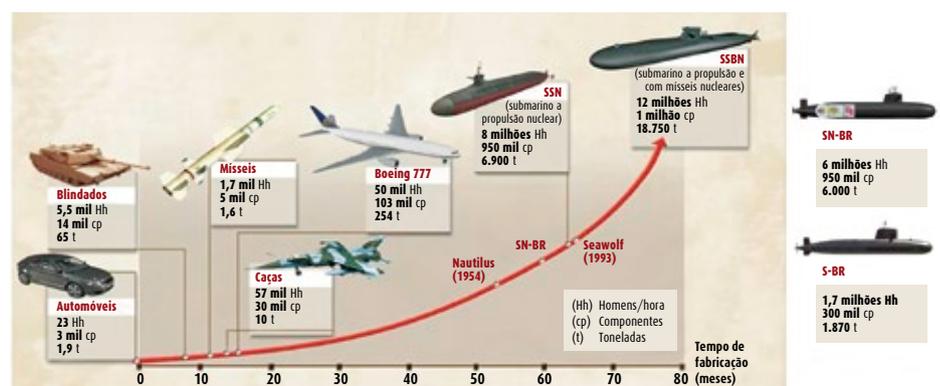
Para vencer as dificuldades inerentes ao projeto e à construção do submarino nuclear, a Marinha optou por um projeto estrangeiro de submarino convencional que lhe transferisse a tecnologia para construir o casco de um submarino capaz de receber um reator nuclear, o SN-BR. Com o acordo e a parceria es-

tratégica com a França, iniciados em 2008, essa transferência está ocorrendo para a área não nuclear do SN-BR. Em janeiro de 2017, o projeto básico do SN-BR foi finalizado e, posteriormente, certificado pela assistência francesa. No momento, o projeto do submarino encontra-se em fase de detalhamento.

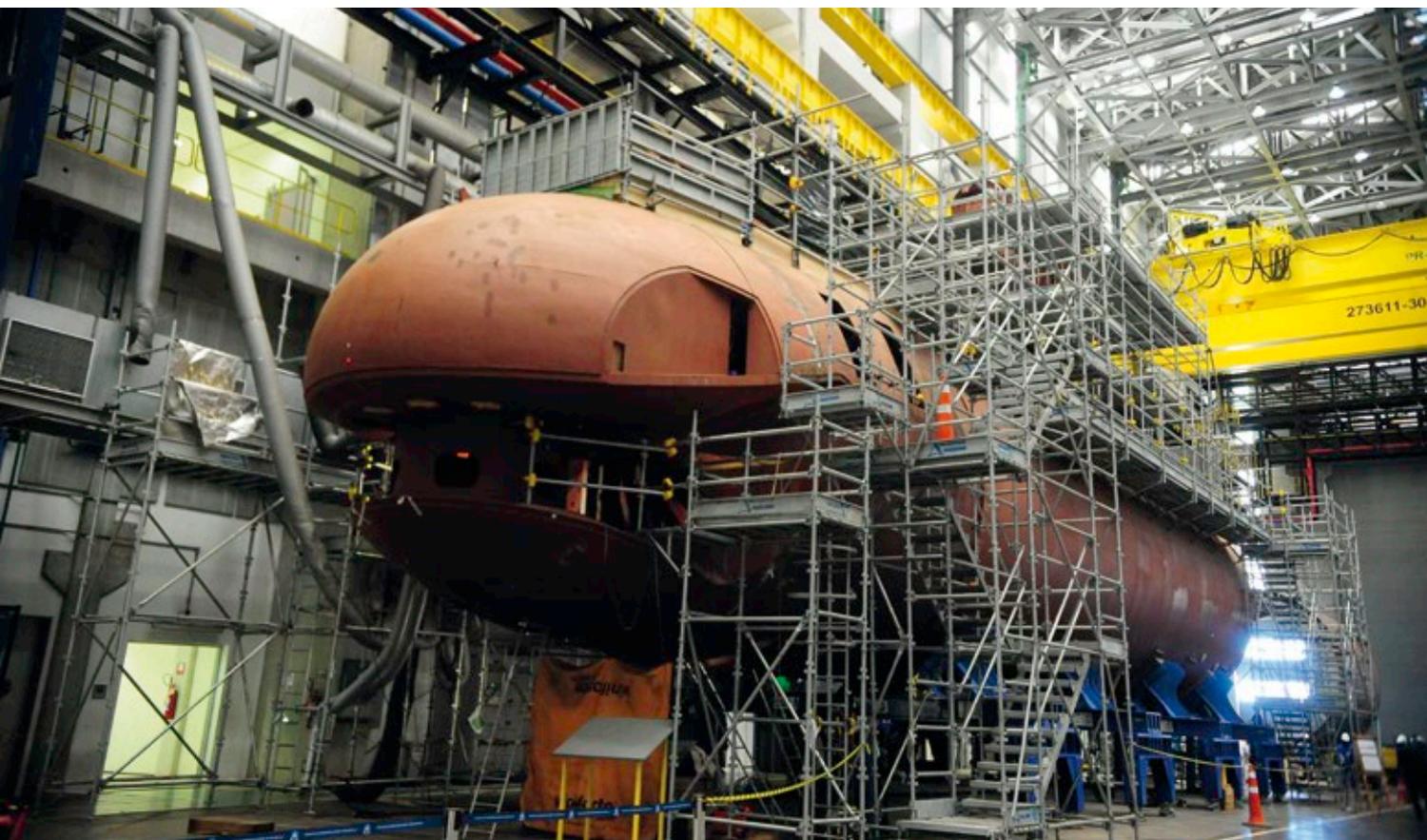
No âmbito do PROSUB foram criados em Itaguaí uma unidade de fabricação de estruturas metálicas (UFEM) e um estaleiro de construção (ESC) e de manutenção (ESM). Para permitir a execução dos contratos firmados com a França, foi estabelecida a Sociedade de Propósito Específico Itaguaí Construções Navais (ICN), que opera a UFEM e o ESC. A UFEM, vizinha da NUCLEP (empresa encarregada de construir as seções dos cascos dos submarinos), é responsável por preencher as seções de cascos dos submarinos com os mais diversos equipamentos. Sua construção foi iniciada em 2010 e ela começou a operar dois anos e oito meses depois. O estaleiro de construção (ESC), responsável por integrar as seções, começou a ser construído em 2009 e começou a operar no início de 2018.

Atualmente, cerca de 1.150 operários trabalham no ESC. Apenas seis são franceses; os demais são brasileiros. O pri-

Figura 2 | Construção de submarinos | curva de complexidade



Fonte: National Shipbuilding Research Program - Advanced Shipbuilding Enterprise. Adaptação dos autores.



TÂNIA RÉGO/AGÊNCIA BRASIL

O programa de submarinos tem permitido absorver modernas tecnologias de construção naval e nacionalizar equipamentos e sistemas.

meiro submarino convencional, o Riachuelo, foi transferido para o ESC no início de 2018. Em 20 de fevereiro, iniciou-se a integração de suas seções, um marco muito importante para o projeto.

Já começou o treinamento da tripulação do Riachuelo, cujo lançamento ao mar foi realizado no dia 14 de dezembro de 2018. Em maio de 2019, ocorrerá a transferência, para o ESC, do segundo submarino, o Humaitá, para começar a integração de suas seções. As seções do terceiro, o Tonelero, e do quarto, o Angostura, estão sendo preparadas na UFEM.

O programa tem permitido absorver modernas tecnologias de construção naval, bem como na-

cionalizar equipamentos e sistemas, impulsionando diversos setores da indústria nacional. Suas atividades envolvem 23 universidades e instituições de pesquisa, além de novecentas empresas, gerando 8 mil empregos diretos e 17 mil indiretos (Figura 3).

Em termos de benefícios tecnológicos aportados pelo PROSUB podem ser elencados, a título de exemplo, diversos equipamentos e sistemas que serão usados pelos submarinos da classe Riachuelo, todos produzidos por empresas brasileiras:

- consoles de navegação, de direção, do sistema de combate e do sistema integrado de gerenciamento da plataforma (IPMS);



UFEM | UNIDADE DE FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS, PREPARAÇÃO DAS SEÇÕES EM 2010, 2013 E 2018



ESTALEIRO E BASE NAVAL | INTEGRAÇÃO E TESTES EM 2010, 2017 E 2018

- gabinetes do sistema sonar, principal sensor do submarino;
- mancais de escora (interface mecânica que transmite o esforço de propulsão do motor ao casco);
- quadro elétrico principal;
- componentes mecânicos (válvulas de casco e atuadores);
- diversos componentes elétricos e eletromecânicos (bombas, motores elétricos, transformadores, cabos e baterias).

Os benefícios podem ir além, pois o limite de nacionalização ainda não foi atingido. Há mais propostas de projetos nessa situação. Os critérios, requisitos e qualificação exigidos estão ao alcance da indústria brasileira, havendo casos de exportação de material

para outras aplicações na empresa francesa parceira no programa. Finalmente, a nacionalização alcançada pelo Brasil na construção do submarino convencional beneficiará o SN-BR.

O Programa Nuclear da Marinha

O interesse da Marinha pelo setor nuclear foi despertado pelo envolvimento do almirante Álvaro Alberto com a geração de energia a partir da fissão de núcleos pesados, processo que ele acompanhou desde que foi introduzido, ainda na década de 1940.

Engenheiro químico, especialista em explosivos, área em que fez interessantes descobertas, ele

foi professor da Escola Naval durante vários anos. Ali, apresentou os desafios da área nuclear aos alunos e aprofundou-se no tema, a ponto de tornar-se representante brasileiro e presidente da recém-criada Comissão de Energia Atômica da Organização das Nações Unidas (CEA/ONU), por dois períodos, de 1946 a 1948.

Convencido de que o Brasil teria de capacitar-se para poder usufruir dos benefícios das novas tecnologias nucleares que surgiam, em 1946 o almirante Álvaro Alberto propôs ao Congresso Nacional, por intermédio da Academia Brasileira de Ciências (ABC), a criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), hoje Conselho Nacional de Desenvolvi-

FOTOS: CEDIDAS PELO AUTOR

to Científico e Tecnológico. O CNPq foi fundado em 1951, formando e apoiando pesquisadores das mais diversas áreas desde então. Álvaro Alberto foi seu primeiro presidente, de 1951 a 1955.

Seu prestígio entre os cientistas levou-o a presidir a ABC nos biênios 1935-1937 e 1949-1951 e a contribuir decisivamente para criar a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) em 1956. Não por acaso, o maior prêmio de ciência do país, concedido pelo CNPq, leva seu nome, em reconhecimento de seu papel destacado e pioneiro.

Em 1954, o almirante Álvaro Alberto trouxe as três primeiras ultracentrífugas para separação isotópica de urânio, precursoras das modernas ultracentrífugas desenvolvidas e usadas pela Marinha e pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB) no processo de enriquecimento do urânio. Anos mais tarde, em 1979, a Marinha iniciou um programa de reaparelhamento que incluía obter um submarino com propulsão nuclear, o que a levou a engajar-se em um projeto destinado a dominar o ciclo do combustível nuclear e em outro destinado a construir um reator nuclear.

O Programa Nuclear da Marinha nos deu acesso a tecnologias estratégicas, antes inacessíveis, e propiciou parcerias com universidades e empresas.

Figura 3 | Submarino Riachuelo sendo integrado no estaleiro de construção (ESC) | Foto de junho de 2018



Em 1981, uma parceria com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), hoje um instituto da CNEN, situado no *campus* da USP, motivou a criação do CTMSP, como mencionamos na introdução, e levou a uma colaboração duradoura entre essas instituições. Em decorrência, foi possível projetar e construir um reator de pesquisa, de potência zero, concluído em 1988, ano em que o país completou o domínio do ciclo do combustível nuclear, tão necessário para apoiar as diversas tecnologias que integram o Programa Nuclear Brasileiro.

Para dominar o ciclo, foi necessário dominar a tecnologia de obtenção do hexafluoreto de urânio e obter, em 1988, em escala

laboratorial, o enriquecimento isotópico de urânio com centrífugas construídas totalmente no Brasil. Enquanto a prospecção e mineração de urânio estão a cargo das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), a Marinha encarrega-se de converter o urânio processado no gás hexafluoreto de urânio, que é enriquecido por ultracentrifugação e transformado em pastilhas de combustível (Figura 4).

A tecnologia de enriquecimento por ultracentrifugação, combinada com levitação magnética, propiciou a construção das sete cascatas de ultracentrifugas que equipam a INB. Uma oitava cascata está prestes a entrar em operação e mais duas serão entregues até 2021. Mais

trinta cascatas estão previstas até 2030, o que permitirá fornecer o combustível para nossas usinas nucleares – hoje abastecidas parcialmente – e, ainda, exportar.

Como parte do Programa Nuclear da Marinha, o CTMSP está construindo o protótipo em terra de um reator e de uma planta de propulsão naval, no Laboratório de Geração de Energia Núcleo-Elétrica (LABGENE),⁴ desenvolvimento crucial para o SN-BR, já que a transferência de tecnologia de construção do casco não incluiu a planta de propulsão nuclear. Será o primeiro reator de potência do país, um reator a água pressurizada (PWR), que poderá ser adaptado para uso dual, de forma modular, podendo prover energia e água, via

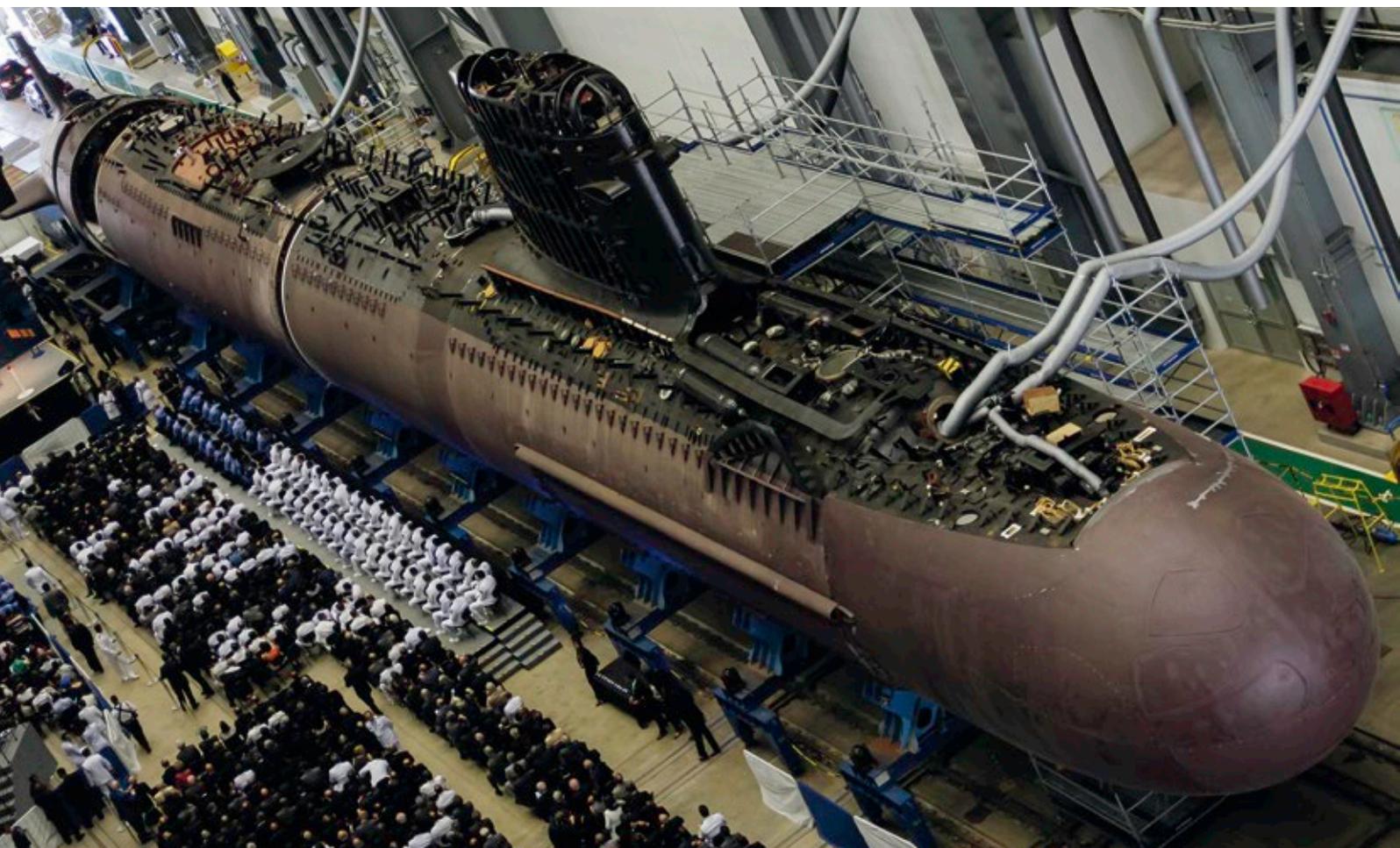


Figura 4 | Ciclo completo do combustível

dessalinização, para regiões remotas em que haja escassez.

A Marinha do Brasil também colabora com a CNEN, por intermédio do IPEN, no projeto do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), destinado a produzir radioisótopos e radiofármacos, a irradiar e a testar materiais. Esse projeto é de enorme interesse para a sociedade brasileira, pois suprirá as necessidades de radiofármacos usados para diagnóstico e tratamento na medicina nuclear. Além disso, fornecerá feixes de radiação de nêutrons para pesquisa, desenvolvimento e testes em materiais.

Considerações finais

Os exemplos mencionados evidenciam o compromisso da Marinha do Brasil com a utilização de ciência, tecnologia e inovação para aprimorar sua capacidade de atuação na defesa do país. Tal compromisso proporciona benefícios adicio-

nais para a sociedade brasileira, como vimos, pois pode levar a tecnologias duais de aplicação ampla.

Em vários projetos voltados para capacitação, materiais e equipamentos de interesse da Marinha, constata-se a importância da interação com universidades, centros de pesquisa e institutos tecnológicos, bem como da associação com empresas. Programas como o PROSUB e o PNM usam a base científico-tecnológica existente no país. Por outro lado, as demandas de programas desse tipo levam a comunidade científica a superar novos desafios, o que contribui para o avanço de CT&I no Brasil e sua maior divulgação para a sociedade.

O Programa Nuclear da Marinha, conduzido com grande transparência, sob salvaguardas nacionais e internacionais, é um ótimo exemplo de programa nacional estratégico, que busca dotar o Brasil de um submarino com propulsão nuclear. Ele nos conduziu ao

domínio do ciclo do combustível nuclear, desenvolveu tecnologias antes inacessíveis, criou as condições para a construção do primeiro reator modular de potência a água pressurizada, com possíveis aplicações duais, e colabora com outras iniciativas estratégicas do setor nuclear, como a do Reator Multipropósito Brasileiro.

A absorção de tecnologia proporcionada pelo PROSUB, como vimos, tem permitido parcerias com dezenas de universidades e centenas de empresas, gerando empregos que contribuem para o dinamismo econômico nas regiões no entorno do CINA, em Iperó, e do EBN, em Itaguaí. Esse processo de absorção nos capacita a novos desenvolvimentos e abre a perspectiva de nos associarmos a outros projetos de construção de meios navais que venham a usar a complexa, moderna e sofisticada infraestrutura criada.

A ciência, a tecnologia, a inovação e a capacitação científico-tecnológica da nossa Marinha e do nosso povo constituem ativos preciosos para a soberania e a segurança, essenciais ao bem-estar da população, o progresso do Brasil e a garantia de um futuro promissor às novas gerações. ■

Notas

1. Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha – EMA 415
2. Estratégia Nacional de Defesa (END) – Versão 2016.
3. Model created in 1990 by Professors Henry Etzkowitz and Loet Leydesdorff.
4. Concept determined by the United States Department of Defense, which establishes an increasing scale of technological readiness from 1 to 9.

O *CLUSTER* AERONÁUTICO BRASILEIRO

as contribuições para o sistema
de inovação de São José dos Campos



A construção de uma indústria aeronáutica é um projeto de longo prazo, que exige a participação de governos, empresas privadas e centros acadêmicos de excelência. Atuando desde a década de 1940, instituições de ensino e pesquisa ligadas à Força Aérea Brasileira formaram gerações de especialistas que nos propiciaram a capacidade de projetar e produzir bens de alto conteúdo tecnológico, que enobrecem a pauta de exportações do país. A Embraer produz superávits comerciais sustentáveis, emprega cerca de 17 mil brasileiros e gera encomendas a cem outras empresas que operam em torno dela, com grande densidade de trabalho qualificado. A região de São José dos Campos (SP) se destaca, no mundo, pela importância do setor aeroespacial instalado lá.

A indústria aeronáutica brasileira é frequentemente apontada como um caso de sucesso de política industrial, tendo na Embraer o seu maior expoente. A importância que as empresas, as instituições de pesquisa e ensino e outras instituições – públicas e privadas, civis e militares – tiveram para esse sucesso refletem-se no estabelecimento de uma região produtiva importante em São José dos Campos (SP) e no seu impacto sobre o sistema de inovação (SI) regional, considerado emblemático para todo o Brasil.

Esse *cluster* produtivo, científico e tecnológico teve origem no início do século XX, em iniciativas pontuais e pouco coordenadas, com certa instabilidade no fomento público. Ele foi claramente redirecionado na década de 1940, quando se estabeleceram as instalações de ciência e tecnologia (C&T) da Aeronáutica. A partir de então, vários eventos adensaram as capacitações setoriais e regionais, estabelecendo as bases atuais.

Este artigo pretende apresentar uma análise sistemática dessas capacitações por meio de uma observação histórica, considerando a estrutura atual com foco nos atores do sistema de inovação e suas interações. Adicionalmente, observaremos outros *clusters* aeroes-

paciais no mundo que possam servir de comparação com o existente em São José dos Campos. Para isso, apresentamos inicialmente uma conceituação de sistemas de inovação, deixando claro sua importância analítica e mostrando como *clusters* setoriais têm estreitas ligações com a capacitação regional de sistemas de inovação. Depois, apresentamos a evolução histórica do *cluster* aeronáutico brasileiro até os dias atuais, incluindo observações sobre casos internacionais. No fim, o artigo sinaliza potencialidades e desafios que devem ser enfrentados para o desenvolvimento setorial e regional.

Sistemas de inovação

A efetividade do ciclo virtuoso econômico, por meio do qual o processo de inovação tecnológica contribui para a construção de uma estratégia de desenvolvimento econômico e de prosperidade social, tem sido ampliada pela maior e melhor articulação e integração dos indivíduos, das organizações e dos setores que dele participam, notadamente a academia, o governo e empresas privadas, especialmente no âmbito de arranjos produtivos, colaborativos, de *clusters* de inovação ou de sistemas de inovação, como descrevemos em seguida.



Thiago Caliri

Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA).



José Henrique de Sousa Damiani

Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA).

Sistemas de inovação engajam academia, governo e setores privados em relações de cooperação e de atuação competitiva – a chamada *coopetition* –, em espaços geográficos delimitados, em determinados segmentos econômicos e em dadas áreas de conhecimento científico e tecnológico e suas aplicações (Freeman, 1992; Malerba, 2002). Em geral, a delimitação geográfica de um sistema de inovação (Cooke, 2001; Florida, 1995) estabelece benefícios na forma de

lor – como instituições públicas e privadas de ensino, pesquisa e desenvolvimento, inovação e fomento – e instituições voltadas à colaboração e ao endereçamento de desafios econômicos e sociais – como organizações de governo, centros de competitividade, parques tecnológicos, incubadoras, consórcios e associações profissionais comerciais e industriais, entre outras, de promoção da colaboração e dos interesses de partes interessadas.

ternalidades positivas existentes no sistema de inovação de São José dos Campos, que, na sua concepção, conta com participação central dos setores aeronáutico e espacial. No decorrer deste artigo, destacaremos o setor aeronáutico e sua importância para a região.

A evolução do sistema de inovação de São José dos Campos e o impacto do *cluster* aeronáutico brasileiro

O estabelecimento do sistema de inovação de São José dos Campos está intimamente ligado à evolução e consolidação da indústria aeronáutica brasileira. É importante entender o histórico desse complexo de ciência, tecnologia e inovação, bem como a evolução dos agentes nesse ecossistema. Mostraremos a trajetória da indústria aeronáutica no Brasil observando três períodos:

A fase pré-inicial

Considera-se essa fase como o período compreendido entre a década de 1930 e a criação do Centro Tecnológico Espacial (CTA) e do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), na segunda metade da década de 1940. Ela foi marcada por iniciativas de visionários empreendedores, como o caso do primeiro avião produzido em escala industrial (Muniz M-7) feito pela Companhia Nacional de Navegação Aérea (CNNA) em 1936. Henrique Lage, proprietário da CNNA, procurava desenvolver um avião nacional desde 1921, mas

economias de aglomeração, antecipadas por Alfred Marshall. Eles decorrem da atuação conjunta de empresas centrais em uma determinada indústria ou setor e da operação de suas cadeias de valor verticais, situadas a montante e a jusante, que se relacionam e se integram as estas empresas centrais.

Nesse âmbito também atuam organizações de suporte às empresas centrais e às suas cadeias de va-

Os sistemas de inovação também se relacionam às cadeias industriais horizontais e/ou verticais, associadas a outros setores de competência e de atividade econômica, com os quais um determinado *cluster* mantém interfaces. Produtores de novos materiais, por exemplo, podem provê-los tanto a *clusters* de inovação de natureza aeronáutica quanto automobilística. Este, aliás, é um exemplo das ex-



RAFAEL LUIZ CANOSSA / CREATIVE COMMONS

seus esforços só obtiveram resultado no governo Getúlio Vargas, depois da criação do Departamento de Aviação Civil (DAC) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo. Esse movimento garantiu a demanda governamental (por motivações militares e navais, os aviões foram adquiridos pelo Ministério da Guerra) e o suporte científico e tecnológico para o desenvolvimento do Muniz M-7. Aliás, o desenvolvimento dos aviões HL-1 e HL-6, construídos pela CNNA, também contou com a demanda do Ministério da Aeronáutica (Bertazzo, 2003), como ocorrerá depois com a aeronave Bandeirante e a Embraer.

Ainda durante o período, as demais iniciativas privadas busca-

ram desenvolver tecnologia nacional, com casos emblemáticos como o CAP-4 Paulistinha e o CAP-1 Planalto, produzidos pela Companhia Aeronáutica Paulista, do Grupo Pignatari, também contando com a participação do IPT-USP no desenvolvimento de várias partes aeronáuticas. Adicionalmente, o governo buscava um adensamento produtivo e tecnológico em bases nacionais, com a criação da Comissão de Estudos para a Instalação de uma Fábrica de Aviões (Ceifa) em 1932.

O início da Segunda Guerra Mundial dificultou a aliança que estava sendo formada com a Alemanha (seriam produzidas aeronaves de treinamento Focke-Wulf 44 e bombardeiros Focke-Wulf 58), com a utilização da Fábrica do

Galeão para a produção do Fairchild M-62A Cornell (220 unidades foram fabricadas entre 1942 e 1952) (Bertazzo, 2003). O IPT-USP também participou desse caso, desenvolvendo componentes nacionais que foram inseridos na aeronave ao longo do tempo.

São grandes as barreiras à entrada de novos protagonistas na produção aeronáutica. Poucos países conseguiram penetrar nesse seleto clube. Manter-se nele é um desafio permanente.



ALDO BIDINI / CREATIVE COMMONS

Em 1936, o Exército Brasileiro começou a tentar estabelecer a Fábrica Nacional de Motores (FNM), sendo beneficiado por um empréstimo do governo dos Estados Unidos e um acordo internacional com a Wright Aeronautical Company. Infelizmente, a demora na produção (que só começou em 1946) e seus altos custos de instalação levaram o empreendimento ao fracasso. Ele foi transformado em uma fábrica de caminhões (Bertazzo, 2003).

Além das iniciativas produtivas, a estratégia do governo federal no treinamento de recursos humanos consistia em enviar periodicamente engenheiros brasileiros para cursos no exterior e convidar professores estrangeiros para ministrar cursos no Brasil. Essas iniciativas, contudo, não configuravam uma política de Estado. Estavam comumente ligadas à sorte e à motivação política do governo no poder. Com a mudança de governo em 1945, uma política econômica de cunho mais liberal foi colocada em prática pelo general Eurico Gaspar Dutra. Os planos para desenvolver uma indústria nacional foram relegados.

Essas experiências tinham boas intenções, mas não foram suficientemente coordenadas para estabelecer relações entre agentes importantes de um sistema de inovação. Na maioria das vezes, as empresas estabeleceram estratégias para a verticalização produtiva, mas a complexidade dos sistemas aeronáuticos impunha restrições técnicas e econômicas para a continuidade dos projetos. A maioria dos projetos brasileiros remontava ao licenciamento de tecnologias

estrangeiras ou à adaptação de projetos, além de ser desenhada por engenheiros do exterior. O IPT-USP se consolidava como o único caso importante de associação de ciência e tecnologia, ainda em aeronaves experimentais simples (Sarti; Ferreira, 2012).¹ Esses problemas, aliados à estratégia de negócio falha (operação no mesmo nicho de mercado ou em segmentos com baixa demanda nacional e baixa capacidade tecnológica) são destacados como erros crassos por Silva (2008).

Além disso, o acesso a excedentes de guerra aeronáuticos permitiram que aeronaves norte-americanas ingressem no mercado a preços reduzidos, impactando os esforços de desenvolvimento de empresas nacionais.

A fase do catching up

A criação da Força Aérea Brasileira (FAB) em 1941, e seis anos depois o estabelecimento do CTA, definindo-se o Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IPD) e uma escola de formação de engenheiros (ITA), são o ponto inicial dessa fase, marcada pela elaboração e a implantação do Plano Smith,² inspirado no modelo do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), que estabeleceu a concepção do CTA e de seus institutos. O ITA tornou-se uma instituição de referência no ensino de engenharia, incluindo a aeronáutica, e foi o celeiro de várias companhias nacionais privadas, criadas nas décadas seguintes por seus ex-alunos, como a Embraer, a Avibrás, a Esca, a Tecna e a Mecatron, entre outras, além de ser o principal fornecedor de mão de obra qualifi-

cada para o IPD (Bernardes, 2000, com acréscimos dos autores). Esse sucesso da base científica e tecnológica foi seguido pelo estabelecimento de uma instituição de certificação e de fomento à indústria aeronáutica, o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI),³ também no âmbito do CTA, que logo se tornou um órgão de suporte ao desenvolvimento da base produtiva industrial aeronáutica. Com o aumento das capacitações do IPD tornou-se necessário criar especializações em pesquisa e desenvolvimento. Ele foi separado no Instituto de Atividades Espaciais (IAE) em 1971 e no Instituto de Estudos Avançados (IEAv) em 1982, seguindo-se este à criação do Laboratório de Estudos Avançados (LEA).

No fim da década de 1960, o CTA/IPD foi o ponto de partida para o desenvolvimento do EMB-110 Bandeirante e a criação da Embraer. A instituição foi a provedora de capacitação técnica e recursos humanos para a empresa ainda durante a década de 1970. A criação da Embraer, empresa estatal, enfrentou os desafios e riscos inerentes à produção de bens de alta complexidade tecnológica em um ambiente emergente que havia enfrentado sérios problemas comerciais e tecnológicos em um passado não tão distante (Cabral, 1987; Ferreira *et al.*, 2009; Francelino, 2016).

Essa capacidade técnica e gerencial nacional é um grande definidor do sucesso da empresa, mas junto com isso é importante destacar a importância de ter estabelecido o nicho de mercado regional como estratégia de negócio.

As agências federais de financiamento, como o BNDES e a Finep, contribuíram com cerca de 80% dos recursos para pesquisa e desenvolvimento. Sem elas, a indústria aeronáutica brasileira não existiria.

A importância disso remete à diminuição das barreiras à entrada na produção, ao acesso a um mercado que não contava com competidores claros e ao *match* com as necessidades governamentais de demanda, cruciais para os primeiros impulsos produtivos. O governo fez a encomenda dos primeiros EMB-110 e do avião Ipanema para o Ministério da Agricultura, e obteve o licenciamento da produção do MB-326G da companhia italiana Aermacchi (conhecido como AT-26 Xavante).

Nesse período, o estabelecimento de parcerias tecnológicas em desenvolvimentos militares da Embraer (AT-26 Xavante e AMX) foi primordial para melhorar processos industriais também nos aviões comerciais, por causa da dualidade da tecnologia embarcada nesses tipos de produtos (Cabral, 1987; Francelino, 2016). Para o AMX, a Aeronáutica criou o Programa de Industrialização Complementar (PIC), buscando qualificar empresas brasileiras para produzir certos itens estratégicos, considerando treinamento técnico, aquisição de máquinas e equipamentos, equipamentos de testes, laboratórios, serviços e assistência tecnológica⁴ (Francelino, 2016, p. 156/158), com gastos na ordem de US\$ 600 milhões mensurados por Ferreira (2009) em valores de 2009. Silva (2008), no entanto, faz dura crítica ao programa, descrevendo que optar pela importação de tecnologia teria sido um erro, pois tal transferência não era uma estratégia bem vista pelas corporações transnacionais por causa do limitado mercado brasileiro em termos de tamanho e renda. Essa crítica remonta à própria experiência de Ozires Silva no desenvolvimento da Embraer, que se desenvolveu adquirindo

suas próprias capacidades produtivas e conhecimentos tecnológicos (Dagnino, 1993). Apesar das críticas, é importante destacar que o PIC propiciou a capacitação de várias empresas brasileiras, que passaram a ser *players* de maior importância no setor aeronáutico, como a Aeromot, em Porto Alegre. Além disso, Francelino (2016) aponta como benefícios do programa a melhora nas capacidades de certificação de produtos aeronáuticos de maior complexidade tecnológica.

Durante o período, também foi notório o esforço do governo federal para oferecer as garantias necessárias para financiamento setorial, principalmente via Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e outras agências de pesquisa e desenvolvimento (Ferreira, 2009). O projeto do EMB-312 Tucano, as primeiras compras civis para o EMB-110 Bandeirante, financiamentos a entes privados estrangeiros para compra das aeronaves e ajuda na certificação internacional foram frequentemente custeadas por agências e bancos estatais. Até a década de 1980, o setor público foi a principal fonte de recursos para pesquisa e desenvolvimento do setor, algo em torno de 80%, como mostrou Bernardes (2000).

O mesmo autor destaca a importância dessas ações para a criação da infraestrutura tecnológica da região de São José dos Campos e a geração de economias de aprendizado e externalidades produtivas e tecnológicas, transformando a região em um importante polo já nas décadas de 1970 e 1980. Em suma, a ação do poder público foi primordial para estabelecer as bases do setor e, por conseguinte, da região.

Como destacam Pietrobelli e Rabellotti (2009): “Países em desenvolvimento precisam construir a base inicial de suas capacidades, apoiando seus processos de aprendizagem; seus mercados e instituições de apoio são menos desenvolvidos e, por isso, respondem menos às necessidades das empresas; *clusters* e redes de informação são mais débeis; o cenário macroeconômico para a atividade industrial e tecnológica é menos propício; a capacidade empreendedora para suportar o risco tecnológico também pode ser menos desenvolvida, e o sistema financeiro é menos vocacionado para apoiar tal esforço” (Pietrobelli; Rabellotti, 2009, p. 217).

A fase pós-privatização até os dias atuais

A privatização da Embraer, em 1994, marca a terceira fase da indústria aeronáutica nacional. A mudança de propriedade esteve relacionada a limitações na estrutura de governança estatal, a restrições no Orçamento da União e ao fim do ciclo de vida dos principais produtos da empresa. A criação de incentivos financeiros e tecnológicos para esse processo marcou a etapa inicial, com o desenvolvimento do projeto da primeira aeronave regional da família ERJ (ERJ-145). O novo sócio-controlador, o Grupo Bozzano-Simonsen, aportou recursos para terminar o desenvolvimento dessa aeronave, que havia sido iniciado antes da privatização. Para fazer frente às dificuldades financeiras internas, a Embraer inaugurou um tipo de relacionamento com fornecedores – as parcerias estratégicas – que depois se

tornou um padrão na indústria de aviação.

Vale a pena destacar o caráter global da indústria aeronáutica, que envolve complexos arranjos de atividades produtivas, tecnológicas e comerciais. Normalmente, as empresas líderes (aquelas que integram projetos e a montagem do produto final) beneficiam-se dos polos produtivos, tecnológicos e científicos em todo o mundo, explorando economias de suas empresas parceiras em uma bem conectada cadeia global de valor (Bernardes, 2000; Sturgeon *et al.*, 2013). Nesse contexto, os principais fornecedores da Embraer já eram empresas estrangeiras. Estabelecendo-se as parcerias estratégicas, esse padrão se manteve. Este tipo de parceria foi um sucesso e continuou sendo usado para modelos posteriores da família ERJ.⁵

A família E-Jet elevou a Embraer a um nível de competição internacional importante. Hoje, ela é a principal companhia aérea de jatos regionais no mundo e vem fornecendo ao mercado a segunda geração da família, o E2 (EMB-175-E2, EMB-190-E2 e EMB-195-E2) (Vinhóles, 2017).

Além desse destaque à capacidade de engenharia e de produção da principal empresa nacional, nos anos recentes verificam-se esforços de adensamento da estrutura de apoio à inovação na região, como mostra a quantidade de agentes que participam do sistema de inovação em São José dos Campos. Neste município, desde a implantação do CTA, do ITA e do IPD se estabeleceu e se expandiu, *de facto*, um siste-

O complexo aeroespacial inclui o desenvolvimento de tecnologias complementares, como radares e sistemas de proteção de voo, essenciais para a defesa e o controle do tráfego aéreo.



PABLO ANDRÉS ORTEGA CHÁVEZ / CREATIVE COMMONS



ma de inovação de abrangência local, assentado no tripé representado por atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento, além de fomento industrial. O objetivo era fazer o país dominar o ciclo completo de tecnologias aeronáuticas, com ênfase na formação de recursos humanos qualificados e no desenvolvimento autóctone de tecnologias aeronáuticas incorporadas em produtos de uso civil e militar.

O desenvolvimento desse sistema de inovação tem contado, ao longo do tempo, com fomento, iniciativas, impulsos e recursos decorrentes de políticas, planos e programas do governo federal, do governo do estado de São Paulo e da prefeitura de São José dos Campos.

A base desse sistema de inovação está alicerçada na importância de sua principal empresa, a Embraer, e na atuação do Departamento de Ciência e Tecnologia Espacial (DCTA), organização do Comando da Aeronáutica, e do Instituto Nacional de Atividades Espaciais (INPE), criado por ex-alunos do ITA. Ademais, também está instalado em São José dos Campos o arranjo produtivo aeroespacial e de defesa, constituído por cerca de sessenta empresas que integram a cadeia de fornecimento da Embraer.⁶

Em conjunto, o engajamento do CTA, atualmente DCTA, com as atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento, inovação e fomento industrial, com ênfase em aeronáutica, espaço e defesa, também tem contribuído para desenvolver tecnologias complementares, necessárias à operação de meios aéreos, como radares e sistemas de

proteção de voo, essenciais ao desenvolvimento e à operação de sistemas integrados de defesa e de controle de tráfego aéreo. Ressalte-se que no *campus* do DCTA também estão instalados o Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) e a unidade de educação e pesquisa e desenvolvimento do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DCEA), também do Comando da Aeronáutica.

A atuação do DCTA também propiciou efeitos de transbordamento, com o desenvolvimento de tecnologias aplicadas a outros setores, além do aeronáutico e espacial. Entre elas, estão tecnologias que contribuíram para a implantação e o desenvolvimento do Programa Nacional do Álcool, em meados da década de 1970, destinado a substituir gasolina por etanol em veículos automotores, e produtos inovadores para outros setores, como as urnas eletrônicas.

Os segmentos de ensino médio e superior do município beneficiaram-se da presença e atuação do DCTA e de seus institutos, que contribuíram para estabelecer organizações como a Fundação Valeparaibana de Ensino, a Escola Técnica Everardo Passos (ETEP) e a Escola de Engenharia Industrial (EEI). Ademais, já no século XXI os governos federal e estadual implantaram novos agentes educacionais, sendo as principais universidades a Unesp (governo de São Paulo) e a Unifesp (governo federal), além da Fatec.

As entidades voltadas a promover a integração de organizações do setor aeronáutico, como a Associação da Indústria Aeroespacial

Brasileira (AIAB), fundada em 1990, têm atuado como importantes *stakeholders*, ou partes interessadas, deste setor junto às diferentes esferas e entidades governamentais e privadas. Além disso, na década de 2000 foram inaugurados o Parque Tecnológico de São José dos Campos e o Centro para a Competitividade e a Inovação do Cone Leste Paulista (Cecompi).⁷ O município também conta com o Parque Tecnológico da Universidade do Vale do Paraíba, cujo atual reitor já foi reitor do ITA.

A criação do Cecompi e do Parque Tecnológico de São José dos Campos decorreu de iniciativa política e de visão estratégica que estabeleceram a importância de o município aprofundar seu posicionamento nos setores aeroespacial e de defesa, além de constituir e ocupar posições de destaque em novos setores, como o de tecnologias de informação e comunicação, energia, biotecnologia, saúde, meio ambiente e segurança pública, entre outras áreas portadoras de futuro.

Ambos os parques abrigam empresas nacionais e estrangeiras dos mais variados segmentos produtivos. O *cluster* aeroespacial brasileiro, instituição executora do Projeto Setorial Aeroespacial da Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex) e da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), formou-se em 2009, reunindo 94 empresas do complexo industrial aeroespacial e de defesa (Cecompi, 2017).

A Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) conta com uma unidade regional instalada em São

José dos Campos, que incorporou recursos humanos e o acervo técnico acumulados pelo Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI), do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial, no tocante à certificação civil de produtos e serviços aeronáuticos. A certificação de produtos aeroespaciais militares continua a ser executada pelo IFI.

O sistema de inovação de São José dos Campos também concentra a maior parte das atividades de desenvolvimento científico, tecnológico e industrial que se executam no setor espacial no país, por meio do Polo Espacial de São José dos Campos. Apesar de não ser o cerne deste artigo, cabem algumas considerações sobre ele, pois se constituiu com a mesma base e apresenta complementaridades produtivas e tecnológicas.

Destaca-se a criação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) como iniciativa estratégica do governo federal a partir do início da década de 1960, para engajar o país nas atividades de exploração espacial, a exemplo do que já haviam realizado os países centrais, como os Estados Unidos, a União Soviética, a França e a Alemanha. Em torno do DCTA e do Inpe vêm se desenvolvendo a indústria espacial brasileira e suas organizações, a exemplo da Visiona, da Cenic, da Orbital e da Equatorial, entre outras. Elas participam das atividades previstas pelo Plano Nacional de Atividades Espaciais, cuja execução é coordenada pela Agência Espacial Brasileira (AEB). Neste caso, diferentemente do polo aeronáutico, está em curso um processo de indução

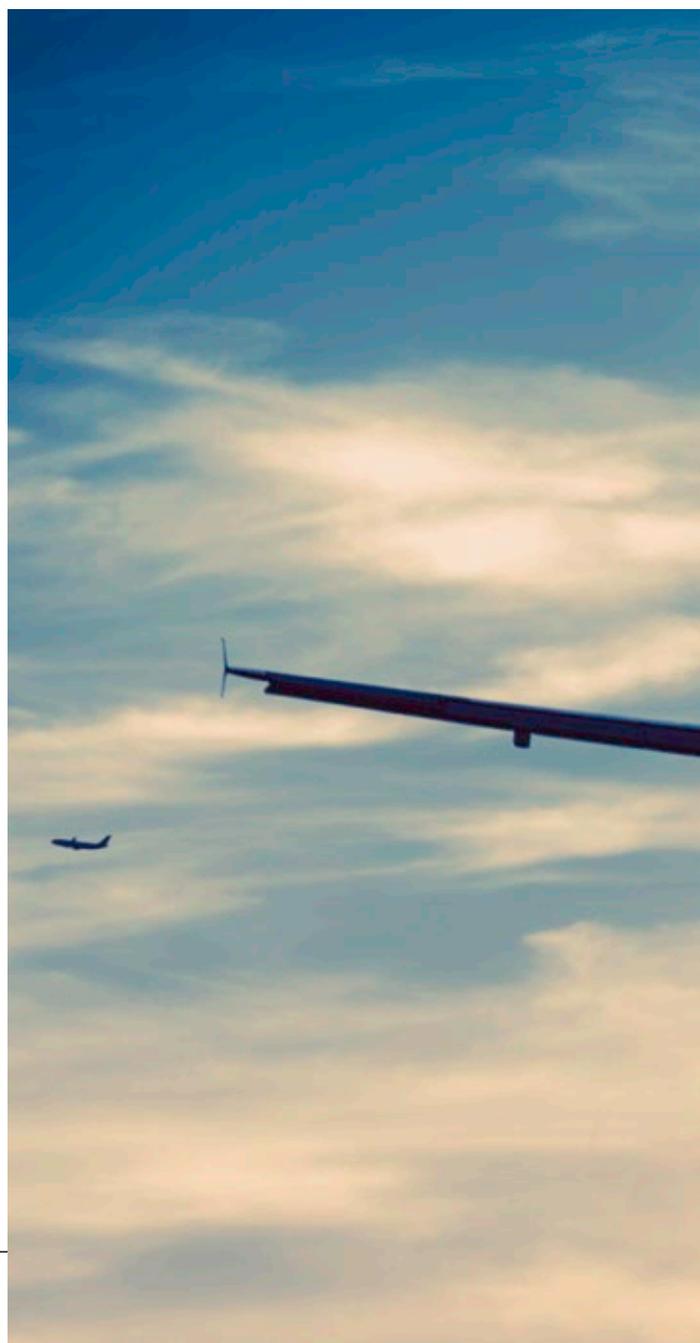
ao desenvolvimento da indústria espacial, conhecido como *forward linkages*, em que a indústria se amplia, progressivamente, a partir das instituições responsáveis por produzir o estoque inicial de conhecimentos e de capacitação. Tais instituições, neste caso, são o DCTA e o INPE, que transferem ativos intelectuais ao setor privado.⁸

Além disso, concomitante aos polos aeronáutico e aeroespacial, um conjunto de empresas e instituições também tem se desenvolvido na área da defesa como um transbordamento decorrente do círculo virtuoso. São exemplos a própria Embraer, a Avibrás e suas subsidiárias, a Engesa,⁹ a Tecnasa¹⁰ e, mais recentemente, empresas como a Mectron e as subsidiárias da Embraer, como a Embraer Defesa e Segurança, a Atech e a Bradar. Tais empresas executam atividades previstas em instrumentos nacionais de planejamento, reunidos, em especial, na Estratégia Nacional de Defesa (END).¹¹

A cooperação internacional tem abrangido iniciativas de trabalho conjunto com instituições que desejam colaborar com o sistema de inovação de São José dos Campos, com expressiva participação do DCTA, incluindo o ITA e o parque tecnológico no estabelecimento de parcerias.¹²

Em suma, as afirmações anteriores atestam a relevância de estabelecer polos ligados ao DCTA e seus institutos para promover adensamento produtivo e desenvolvimento econômico da região, favorecendo a instalação no município de empresas relevantes em diversos setores de base tecnológica, como o automobilístico, de

telecomunicações, de saúde, eletrônico, biotecnologia, fotografia, ar condicionado e óleo e gás. Desde meados do século XX, instalaram-se na cidade de São José dos Campos unidades industriais de empresas que são *global players*, como General Motors, Ericsson, Johnson & Johnson, National Panasonic, Philips,¹³ Kodak,¹⁴ Hi-



Uma grande aeronave de carga e um moderno avião de caça reorientam novos desafios tecnológicos para o Brasil.

tachi, Monsanto, Solectron¹⁵ e Petrobras (por meio da sua refinaria do Vale do Paraíba).

Recentemente, devem-se destacar novas estratégias para impulsionar e desenvolver o sistema de inovação de São José dos Campos a partir de iniciativas do Ministério da Defesa. Nos últimos anos, o desenvolvimento da aereo-

nave de carga KC-390 (Ribeiro, 2017) e o contrato de *offset* para o caça Gripen NG (programa F-X2) com a empresa sueca Saab têm sido os principais programas fomentadores de novas tecnologias e empreendimentos no setor aeronáutico.¹⁶ O orçamento estimado para esses programas é de US\$ 4,5 bilhões e US\$ 5,4 bilhões, respec-



tivamente (Ministério do Planejamento, 2014). Desde 2005 um regulamento do Comando da Aeronáutica (DCA-360/1) estabelece que qualquer importação de bens ou serviços acima de US\$ 5 milhões deve envolver algum contrato de compensação para empresas brasileiras, aumentando as capacidades do IFI de fazer acordos que favoreçam a indústria nacional (Ministério do Planejamento, 2014).

O ITA, por sua vez, vem implementando nos últimos anos um programa de expansão, que inclui o aumento do número de engenheiros graduados pelo instituto. Ao lado dele, há o projeto para implantar um centro de inovação que operará tanto no *campus* do DCTA como no Parque Tecnológico de São José dos Campos e um programa de formação complementar em inovação, já em funcionamento.

As demais experiências internacionais

A experiência ao redor do mundo tem mostrado que a estratégia de *clusters* produtivos e de inovação com geração de capacidades de adensamento tecnológico é usual na competição de empresas da indústria aeronáutica e aeroespacial (Niosi; Zhegu, 2005). Recentemente, percebe-se um processo de deslocamento que vem transferindo capacidades produtivas de países desenvolvidos para países em desenvolvimento (Niosi; Zhegu, 2010). É importante observar outras experiências internacionais, principalmente em situações comparáveis com as do polo de São

José dos Campos, para iluminar questões sobre forças e desafios para a região.

Montreal

O *cluster* de Montreal,¹⁷ denominado Aéro Montréal, tem como empresa mais importante a Bombardier, a principal concorrente da Embraer. Foi criado em 2006. Em seu próprio entendimento, é um *think tank* estratégico que reúne os principais tomadores de decisão do setor aeroespacial de Quebec, incluindo empresas, instituições educacionais e de pesquisa, associações e sindicatos.

O Aéro Montréal adotou um plano de ação estratégico que inclui a criação de grupos de trabalho dedicados às seguintes áreas: desenvolvimento da cadeia de suprimento, *branding* e promoção, inovação, recursos humanos, defesa e segurança nacional, desenvolvimento de mercados e comercialização. Essa atuação estratégica que incide nas mudanças estruturais da indústria se mostram importantes para nortear o desenvolvimento das empresas que atuam no *cluster*.

Por exemplo, percebe-se que os *prime contractors* estão reduzindo o número de fornecedores, preferindo trabalhar com um número menor de companhias intermediárias que ofereçam soluções integradas e gerenciem subcontratados. Por consequência, as cadeias globais de suprimento passam a favorecer o surgimento e o desenvolvimento de integradores capazes de projetar, fabricar e montar sistemas completos. Fornecedores dessas cadeias devem aperfeiçoar suas práticas operacionais, elevar sua capacidade de inovação e pro-

mover parcerias, de maneira a trabalhar em conjunto, tornando-se mais competitivos e reforçando suas posições nas cadeias.

Além disso, o Aéro Montréal estabeleceu um Grupo de Trabalho de Desenvolvimento da Cadeia de Valor, composto de treze representantes de suas empresas, com o propósito de supervisionar o planejamento, a coordenação e a implementação de um plano de ação para responder aos principais desafios da subcontratação, elevar a competitividade dos fornecedores do *cluster* aeroespacial de Québec e fortalecê-lo diante da concorrência internacional.

De maneira geral, o Aéro Montréal promove o crescimento do *cluster* aeroespacial canadense por meio do fortalecimento de sinergias, procurando manter a posição que conquistou no mundo. Atua para reforçar e consolidar seu posicionamento estratégico, promovendo o desenvolvimento de mercados para suas empresas. Neste sentido, mercados emergentes e de nicho representam oportunidades para o setor aeroespacial, assim como aquelas decorrentes do emprego de *drones* e de atividades de MRO (Maintenance, Repair, and Operations).

Aerospace Valley (França) e Netherlands Aerospace Group (Holanda)

O Aerospace Valley¹⁸ apoia empresas que fazem grande concorrência ao sistema de inovação de São José dos Campos, como a Airbus, que recentemente incorporou a divisão de aeronaves regionais da Bombardier (esta, por sua vez, apoiada pelo Aéro Montréal).

Criado em 2005, o Aerospace Valley é considerado o mais importante polo de competitividade e inovação da França nos setores de aeronáutica, espaço e sistemas embarcados. Conta com mais de 840 membros, tanto da indústria quanto da academia. Possui escritórios em Toulouse e Bordeaux, e seu *cluster* de inovação abrange duas regiões geográficas adjacentes do sudoeste francês, a Occitânia e a Nova Aquitaine. O *cluster* oferece 124 mil empregos industriais, o que corresponde a 1/3 da força de trabalho francesa no setor aeroespacial. Reúne também 8,5 mil pesquisadores e cientistas, que representam 45% do potencial francês em pesquisa e desenvolvimento no setor aeroespacial. O Aerospace Valley obteve o financiamento de 475 projetos, totalizando 1,2 bilhão de euros (dados de junho de 2016). O *cluster* francês pretende criar de 35 mil a 40 mil novos empregos até 2025, no âmbito do programa francês de polos de competitividade.

O Netherlands Aerospace Group (NAG) se preocupa com a contínua preparação de seus membros para a competição internacional, por meio do apoio a ações voltadas ao intercâmbio de conhecimento, à defesa dos interesses do setor, ao acesso a mercados nacionais e internacionais e às organizações do grupo. O NAG reúne cerca de cem organizações, que representam aproximadamente 95% das receitas do setor aeroespacial holandês. Os membros do NAG situam-se na fronteira do conhecimento em áreas como novos materiais, tecnologias de produção, manutenção e desenvolvimento

aeroportuário. O NAG possui uma representação no Brasil. É importante ressaltar que o setor aeronáutico holandês apresenta uma receita anual consolidada de 5,5 bilhões de euros, ocupando o sexto lugar na Europa e empregando cerca de 20.200 funcionários. O setor investe cerca de 8% do faturamento anual em pesquisa e desenvolvimento, distribuído em mais de cem empresas e instituições de pesquisa, como a Universidade Tecnológica de Delft, a Universidade de Twente e os Laboratórios Aeroespaciais Holandeses (NLR).¹⁹ A Embraer Netherlands integra o NAG.²⁰

México

O Monterrey Aerocluster foi criado em 2009, de acordo com o modelo da hélice tripla, envolvendo seis empresas, duas universidades e duas entidades governamentais. O *cluster* aeroespacial do estado de Nuevo León tem como objetivo promover a integração regional para o desenvolvimento do setor aeroespacial. Sua atuação é voltada para incorporar empresas locais às cadeias de valor nacionais e internacionais, por meio do desenvolvimento de projetos que fomentem sinergias entre atores locais.²¹ A atuação do *cluster* é apoiada por facilidades especializadas, como o Centro de Inovação em Engenharia Aeronáutica (CIIA), a Universidade Aberta de Nuevo Leon (UANL) e o Parque Tecnológico de Monterrey, o qual, como a universidade, tem atuação importante em áreas como novos materiais e nanotecnologia. O CIIA é associado à Faculdade de Engenharia Mecânica e Aeronáutica (FIME) da UANL.

O México também dispõe do Aerospace Querétaro, um agente de mudança que facilita e amplia as oportunidades para desenvolver a indústria aeroespacial em nível estadual, nacional e internacional. O *cluster* coordena a atuação de empresas, centros de pesquisa, instituições de ensino e organizações governamentais, como também o desenvolvimento e a integração de empresas pequenas, médias e grandes na cadeia de valor aeroespacial. Também executa planos e programas inovadores para estabelecer alianças estratégicas entre os atores da cadeia de valor aeroespacial.²²

O México é considerado uma região estratégica para a manufatura de componentes aeronáuticos, com um crescimento de 15% ao ano durante os últimos três anos. O país tem demonstrado grande capacidade de atrair investimentos estrangeiros por meio de novos projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. A indústria aeronáutica mexicana está orientada para projeto, manufatura, manutenção e serviços de treinamento. Os estados da Baja California, Nuevo Leon, Querétaro, Chihuahua e Sonora abrigam a maior parte das empresas aeronáuticas instaladas no país, com algo em torno de 45 mil profissionais.

O programa também inclui o engajamento do governo, da indústria e da academia no desenvolvimento de setores estratégicos ainda não instalados no país, como sistemas propulsivos, de controle de voo e de aviônica, áreas em que o Brasil também apresenta carências em sua cadeia produtiva aeronáutica.²³ Organizações de gran-

de relevância para a busca destes objetivos são o Centro para a Engenharia e o Desenvolvimento Industrial (CIDESI) e o Centro de Tecnologias Aeronáuticas (CENTA), na cidade de Santiago de Querétaro. Deve-se notar que o CENTA vem realizando o projeto de uma aeronave inteiramente desenvolvida por especialistas mexicanos. A organização procura desempenhar um papel similar ao do DCTA no fomento à indústria aeronáutica brasileira.

Estados Unidos

Deve-se tratar do *cluster* aeroespacial situado do estado de Washington,²⁴ particularmente quando se considera a associação, em curso, da Embraer com a Boeing. Este *cluster* foi o primeiro a se estabelecer no setor aeroespacial e é o maior deles. Começou em 1916, com um único e modesto celeiro vermelho em Seattle. Hoje, emprega mais de 132 mil pessoas, em mais de 1.350 empreendimentos. A indústria aeronáutica do estado de Washington gerou US\$ 76 bilhões de atividade econômica em 2012, pagando um total de US\$ 11,5 bilhões em salários, o que representou 11% do total de salários pagos na região.

No estado de Washington, cerca de 175 empresas trabalham diretamente na indústria aeroespacial, gerando 94.200 empregos em 2012. Empresas diretamente relacionadas ao setor geraram 38.300 empregos adicionais, em um total de 1.350 firmas.²⁵

As empresas do *cluster* aeroespacial do Estado de Washington têm ligações com a cadeia global de fabricantes aeronáuticos, in-

cluindo a Airbus, a Bombardier, a Comac, a Mitsubishi Aircraft Company e a Embraer. Entre as empresas norte-americanas que fornecem partes para a Airbus, o concorrente europeu da Boeing, o estado de Washington só está atrás da Califórnia.

Ele entende que, com o crescimento mundial de *clusters* aeroespaciais, precisa competir cada vez mais por novos negócios. Fabricantes aeronáuticos contam com um número crescente de locais alternativos para montar suas aeronaves. Contudo, um atributo relevante para a atração de novos negócios é o acesso a recursos humanos e a facilidades especializadas. A Universidade de Washington (Seattle) tem se tornado uma das universidades públicas norte-americanas a ocupar um papel de liderança no apoio ao desenvolvimento de novas tecnologias aeroespaciais, ao passo que a Universidade do Estado de Washington (Pullman) está ampliando seus programas de engenharia em Everett, assumindo a gestão do Centro Universitário de North Puget Sound.

Portugal

O *cluster* português possui cerca de sessenta empresas, faturou 1,87 bilhão de euros em 2017 e representou 1,2% do PIB do país, empregando 18.500 pessoas, com 87% de sua produção destinada à exportação. A indústria é composta principalmente por pequenas empresas. Nove institutos de pesquisa e quatro universidades formam aproximadamente 120 engenheiros espaciais por ano.²⁶

O polo português, que não existia até 2007, tem hoje tama-

nho compatível com a totalidade de empregos gerados na indústria aeronáutica brasileira. Ele é fruto de política recente, estabelecida de maneira coordenada e direcionada pelo governo português para cumprir metas específicas de adensamento do sistema de inovação. A instituição de suporte ao *cluster* só iniciou suas operações em 2016.²⁷ A Embraer possui duas fábricas e um centro de engenharia em Portugal, contando com aproximadamente 450 empregados e fornecendo produtos para as três áreas de negócio da empresa (comercial, executiva e defesa).

Conclusões e observações

O *cluster* aeronáutico brasileiro começou a existir na década de 1940. Desde então, viu sua principal empresa se tornar líder mundial na fabricação de aeronaves no seu segmento. Seu desenvolvimento está diretamente ligado à evolução das relações e das instituições do sistema de inovações de São José dos Campos. Por sua relevância, é frequentemente apontado na literatura acadêmica e profissional como um caso de sucesso de política industrial. Possui superávits comerciais sustentáveis, emprega aproximadamente 17 mil pessoas e tem cerca de cem empresas operando em seu entorno.

Apesar desses resultados, muito ainda se discute sobre a sustentabilidade de longo prazo da competitividade nacional, haja vista a desigualdade nas capacitações das empresas que operam nesse *cluster*. Apesar do sucesso da Embraer, a inserção de empresas brasileiras

que operam com maior agregação de valor é fraca. A Akaer, associada à SAAB, pode se tornar a primeira a conquistar tal posição. Nenhuma empresa brasileira é parceira de risco da Embraer ou de qualquer montadora aeronáutica global. Isso reflete o fato de que a capacidade produtiva e inovadora do complexo industrial brasileiro está concentrada em sua empresa líder e no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial.

Entre os desafios da indústria aeronáutica brasileira inclui-se a necessidade de aprimorar constantemente as empresas que compõem a sua cadeia de fornecimento, além de ampliar a abrangência e a profundidade de sua cadeia de suprimento, com a integração, a esta cadeia, de maior número de empresas em seus níveis superiores, próximos de sua empresa central, tanto por meio da evolução das empresas locais para posições de maior valor agregado da cadeia como pelo estabelecimento de novas organizações, em um processo que tem sido denominado de adensamento da cadeia produtiva.

As observações internacionais mostram que, independentemente da maturidade das empresas, estratégias específicas lideradas por agentes agregadores têm sido importantes, com o estabelecimento de associações representativas dos *clusters*, além de planejamentos estratégicos bem estabelecidos, com boa coordenação entre os agentes.

Esse posicionamento representa significativos desafios competitivos para o arranjo local e requer as necessárias respostas para assegurar sua expansão e sustentabilidade futuras. Tais respostas po-

dem incluir planos e programas estratégicos de desenvolvimento, de maneira a enfrentar a competição. Iniciativas como o estabelecimento de parcerias ou uniões estratégicas, a exemplo daquela que está em curso entre a Embraer e a Boeing, podem ser consideradas. Adicione-se que esta possível parceria pode ter impactos de grande relevância, mas difíceis de serem avaliados e previstos, sobre a indústria e o ecossistema local de inovação. Provavelmente haverá profundas e relevantes consequências sobre a arquitetura de pesquisa, desenvolvimento, inovação e indústria que se estabeleceu localmente nos últimos setenta anos, assim como sobre seus *stakeholders*. A análise e a tomada de decisões sobre a configuração final devem merecer ampla reflexão, em decorrência de seus impactos sobre o ecossistema local de inovação e suas contribuições para o desenvolvimento econômico e social.

Por fim, os estímulos mais recentes para o sistema de inovação de São José dos Campos têm trazido desafios relacionados à contínua promoção da inovação e da competitividade em seus setores tradicionais de atuação, por meio do desenvolvimento e aprimoramento dos seus componentes estruturais, bem como da obtenção de competências e da sua capacidade de atuar em novos setores. A execução dos programas de desenvolvimento e a produção de novas aeronaves, como o KC-390 e o FX-2, anteriormente mencionados, e espaçonaves, como lançadores e satélites, deverão trazer contribuições importantes para a

aquisição e a internalização de novos ativos tecnológicos e industriais, e para a ampliação e o adensamento das cadeias de valor aeronáutica, espacial e de defesa. Estes programas também contribuirão para que se enfrentem os desafios e a concorrência internacional nos segmentos da aviação comercial em que Embraer ocupa posição de liderança.

À guisa de exemplo destes desafios, mencione-se que em novembro de 2015 a Commercial Aircraft Corporation of China (Comac), estatal chinesa fabricante de aeronaves, apresentou o C919, a maior aeronave comercial já desenvolvida na China, que pretende concorrer com modelos similares, o Boeing 737-800 e o Airbus A 320.²⁸ Também poderá concorrer com as versões superiores da nova família de jatos regionais da Embraer, em desenvolvimento.

Esses desafios devem ser encarados em união, em estratégias de relacionamento entre todos os agentes do sistema de inovação, na internacionalização dos contatos e das capacidades locais. Os autores deste artigo entendem que há capacidades importantes na região. Em estudo recente da Consultoria fDi Intelligence, revista especializada em mercado internacional do jornal *The Financial Times*, São José dos Campos foi apontada como a principal cidade do mundo no *ranking* de potencial estratégico para investimento direto estrangeiro no setor aeroespacial.²⁹ Tornam-se importantes, porém, visão sistêmica e atuação conjunta para buscar um desenvolvimento econômico e social sustentado e competitivo. ■

Notas

1. Como salientado por Hausmann e Rodrik (2003, p.605), '...even when the production techniques used in the advanced countries are transparent to outsiders, their transfer to new economic and institutional environments typically requires adaptations with uncertain degrees of success'.
2. O Plano Smith, elaborado pelo então Tenente Coronel da Força Aérea Brasileira, Casimiro Montenegro Filho, e o Professor Richard Harbert Smith, do MIT, estabeleceu o modelo do Centro Técnico de Aeronáutica (CTA) e os seus institutos iniciais, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), e o Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IPD). No IPD foi realizado o desenvolvimento da aeronave Bandeirante, por meio da execução do Projeto IPD-6504, cujo voo inicial deu-se no ano de 1968. O sucesso do projeto ensejou a criação da Embraer, por meio de iniciativa do Ministério da Aeronáutica, apoiada pelo Governo Federal.
3. A certificação da aeronave Bandeirante pelo CTA/IFI foi essencial para a sua exportação e o seu sucesso em mercados internacionais.
4. "Durante o mesmo período, a Embraer também buscou incentivar o fortalecimento dos fornecedores nacionais. Para a subcontratação de peças acabadas, a Embraer estabeleceu o conceito de "fornecedor integrado", considerando que não seria racional programar e controlar oito mil itens em um universo de cinquenta fornecedores. Por isso, concentrou-se nos fornecedores mais bem equipados, que em benefício próprio assumiram a tarefa. Inicialmente, doze pequenas empresas foram selecionadas, com dados de planejamento de um ano com base na previsão de vendas da Embraer. Esse conceito funcionou bem até o início dos anos 1990, quando a crise econômica interrompeu a rede de fornecedores integrados' (FERREIRA, 2009, p. 173-174).
5. No ERJ-145 haviam quatro parceiros de risco: Gamesa (Spain), Sonaca (Belgium), C&D (United States) e Enaer (Chile). No projeto ERJ-170/190 havia um total de 11 parcerias de risco.
6. Estima-se que a indústria aeronáutica brasileira, estabelecida, em sua maior parte, em São José dos Campos, tenha gerado, cumulativamente, superávits comerciais para o país superiores a trinta bilhões de dólares, desde a sua constituição, a partir da criação da Embraer e do seu ingresso, bem sucedido, na indústria aeronáutica internacional, evidenciando o seu potencial e a capacidade de geração de valor econômico, apoiado na produção e incorporação de inovações tecnológicas, capacidades estas especialmente ampliadas pelo Sistema de Inovação que se estabeleceu na região.
7. Uma das referências para a concepção do Cecompi foi o Council on Competitiveness Center, fundado em 1986, que é uma non-partisan leadership organization of corporate CEOs, university presidents, labor leaders and national laboratory directors committed to advancing U.S. competitiveness in the global economy and a rising standard of living for all Americans. Fonte: <http://www.compete.org/about>, acesso em 13 de janeiro de 2016.
8. Este processo (forward linkages) do setor espacial não tem apresentado a mesma eficácia dos backward linkages, que têm promovido o desenvolvimento da indústria aeronáutica e a sua consolidação. O aumento do desempenho do processo indutor da expansão da indústria espacial constituiu-se em desafio significativo para o Sistema Municipal de Inovação, dada a essencialidade deste setor ao desenvolvimento econômico e à soberania nacional. A constituição da Visiona, que é uma joint-venture estabelecida pela Telebrás e a Embraer, detém caráter estratégico para o desenvolvimento da indústria espacial brasileira, e poderá desempenhar, para este setor, papel análogo ao realizado pela Embraer como a organização integradora da indústria aeronáutica e promotora do seu desenvolvimento.
9. A Engesa, em decorrência de desdobramentos de conflitos bélicos internacionais, encerrou suas operações em São José dos Campos.
10. A Tecnasa, em decorrência de desdobramentos da evolução tecnológica de sistemas de proteção de voo e de sistemas embarcadas e de telecomunicações, encerrou suas atividades em São José dos Campos.
11. A Estratégia Nacional de Defesa está focada em ações estratégicas de médio e longo prazo, e objetiva modernizar a estrutura nacional de Defesa, atuando em três eixos estruturantes: reorganização das Forças Armadas, reestruturação da indústria brasileira de material de defesa, e política de composição dos efetivos das Forças Armadas. Fonte: <https://www.defesa.gov.br/arquivos/2012/mes07/end.pdf>. Acesso em 02 de outubro de 2018.
12. Aponta-se como exemplo a Universidade Autónoma de Nuevo León – UANL –, situada em Monterrey, no México, por meio de sua Faculdade de Engenharia Elétrica e Mecânica – FIME – e do Centro de Pesquisa e Inovação em Engenharia Aeronáutica (CHIA), que vêm estabelecendo, desde 2014, esforços cooperativos com o ITA, na área de Engenharia Aeronáutica. Tem-se, igualmente, procurado estabelecer atividades conjuntas entre o Arranjo Produtivo Local (APL) Aeroespacial e de Defesa com o *cluster* aeronáutico localizado em Monterrey. Da mesma forma, atividades de cooperação com a Associação das Empresas Aeroespaciais Holandesas – o NAG – têm sido promovidas, ambas visando, entre outras finalidades, fomentar a internacionalização do APL.
13. A Kodak, em decorrência da evolução da fotografia digital e de reestruturação organizacional, encerrou sua operação em São José dos Campos.
14. A Philips, em decorrência da evolução da tecnologia de projeção de imagens e de reestruturação organizacional, encerrou suas operações em São José dos Campos.
15. A Solectron, uma empresa que fabrica, sob contrato, equipamentos eletrônicos para OEMs do setor, encerrou suas atividades em São José dos Campos, em decorrência de decisão corporativa. Suas facilidades foram então adquiridas pela Prefeitura Municipal de São José dos Campos, e foram destinadas ao Parque Tecnológico do município.
16. Ambos os programas são geridos pela Comissão Coordenadora do Programa Aeronave de Combate – COPAC, que é um órgão integrante do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA).
17. Fonte: <https://www.aeromontreal.ca/who-we-are.html>, acesso em 03 de outubro de 2018.
18. Fonte: <http://www.aerospace-valley.com/en>, acesso em 03 de outubro de 2018.
19. Fonte: <https://nag.aero/sector/>, acesso em 04 de outubro de 2018.

20. Fonte: <https://nag.aero/members/embraer-netherlands/>, acesso em outubro de 2018.
21. Fonte: <http://www.monterreyaerocluster.com/nosotros/>, acesso em 03 de outubro de 2018.
22. Fonte: <https://aeroclusterqueretaro.mx/about/>, acesso em 03 de outubro de 2018.
23. Fonte: <https://www.cidesi.com/rtna/index.html>, acesso em 03 de outubro de 2018.
24. Fonte: <https://aviationbenefits.org/case-studies/washington-state-the-ultimate-aerospace-cluster/>, acesso em 03 de outubro de 2018.
25. Em dezembro de 2013, a Boeing empregava cerca de 82.000 trabalhadores no Estado de Washington. Em 2012, a empresa pagou mais de US\$ 4,6 bilhões de dólares para seus 2.042 fornecedores. De acordo com o Departamento de Comércio do Estado, as exportações da empresa representaram 53% do total exportado, no ano de 2013, totalizando US\$ 43,6 bilhões de dólares, o que correspondeu a um aumento de 61%, desde 2011. As projeções são de que este desempenho cresça nos próximos anos, na medida em que o nível de produção da empresa se eleva para atender à demanda mundial por transporte aéreo. Na fábrica da Boeing, em Renton, a produção tem alcançado 42 unidades mensais, que devem se elevar para 52 unidades, em 2019.
26. <https://observador.pt/2018/05/25/setor-aeronautico-em-portugal-quer-atingir-3-do-pib-em-cinco-anos/>. Acesso em 02 de outubro de 2018.
27. Fonte: <http://www.aedportugal.pt/>. Acesso em 04 de outubro de 2018.
28. O C919 é um jato de fuselagem estreita (narrow-body) e bimotor. Segundo a fabricante chinesa, a versão básica pode acomodar 158 passageiros divididos em duas classes ou 168 em classe única. A Comac ainda sugere uma configuração de “alta densidade”, com 174 assentos. Já o alcance do modelo padrão é 4.075 km ou 5.500 km na versão de alcance estendido “C919 All ECO”. Fonte: <http://airway.uol.com.br/china-apresenta-jato-comercial-para-brigar-com-airbus-e-boeing/>, acesso em 02 de novembro de 2015.
29. <https://www.fdiintelligence.com/Rankings/fDi-s-Aerospace-Cities-of-the-Future-2018-19-FDI-Strategy>. Acesso em 02 de outubro de 2018.

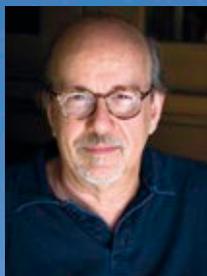
Referências

- BERNARDES, R. *Redes de inovação e cadeias produtivas globais: impactos da estratégia de competição da Embraer no arranjo aeronáutico da região de São José dos Campos*, n° 23. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. Disponível em: <<http://www.ie.ufrj.br/redesist/P2/textos/NT23.PDF>>. Acesso em: 11 set. 2017.
- BERTAZZO, R. P. *A crise da indústria aeronáutica brasileira: 1945-1968*. 2003. 50 f. UFJF, 2003.
- CABRAL, A. S. *Análise do desempenho tecnológico da indústria aeronáutica brasileira*. 1987. 241 f. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 1987.
- CECOMPI. *Brazilian Aeronautical Cluster*. Disponível em: <<http://www.cecompi.org.br/aero/pt/>>.
- COOKE, P. Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. *Industrial and Corporate Change*, v. 10, n. 4, p. 945–974, 2001.
- DAGNINO, R. *A Indústria aeronáutica*, Nota Técnica Setorial. Campinas: [s.n.], 1993.
- FERREIRA, J. M. B. *et al. Relatório de acompanhamento setorial: indústria aeronáutica*. Brasília: [s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Aeronautico_junho2009.pdf>.
- FLORIDA, R. Toward the Learning Region. *Futures*, v. 27, n. 5, p. 527–536, 1995.
- FRANCELINO, J. DE A. *Impactos tecnológicos de programas de aquisição de aeronaves militares sobre o nível de capacitação da indústria aeronáutica brasileira*. 2016. 345 f. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2016.
- FREEMAN, C. *Economics of Innovation*. London: Routledge, 1992.
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, v. 31, p. 247–264, 2002.
- NIOSI, J.; ZHEGU, M. Aerospace Clusters: Local or Global Knowledge Spillovers? *Industry and Innovation*, v. 12, n. 1, p. 1–25, 2005.
- NIOSI, J.; ZHEGU, M. Multinational Corporations, Value Chains and Knowledge Spillovers in the Global Aircraft Industry. *International Journal of Institutions and Economics*, v. 2, n. 2, p. 109–141, 2010. Disponível em: <<http://ijie.um.edu.my/RePEc/umk/journal/v2i2/FullText1.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.
- PIETROBELLI, C.; RABELLOTTI, R. The Global Dimension of Innovation Systems: Linking Innovation Systems and Global Value Chains. In: LUNDVALL, B.A.; JOSEPH, K. J.; CHAMANADE, C. V. J. (Org.). *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries*. [S.l.]: Edward Elgar, 2009.
- PLANEJAMENTO, MINISTÉRIO DO. *Novo avião da Embraer reforça a FAB e também a indústria brasileira*. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/50e9eb60>>.
- RIBEIRO, C. G. Desenvolvimento tecnológico nacional: o caso KC-390. In: RAUEN, A. T. (Org.). *Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil*. Brasília: IPEA, 2017. p. 486. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/politicas_de_inovacao_cap06.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2017.
- STURGEON, T. *et al. Brazilian Manufacturing in International Perspective: A Global Value Chain Analysis of Brazil's Aerospace, Medical Devices, and Electronics Industries*. Durnham: [s.n.], 2013. Disponível em: <https://gvcc.duke.edu/wp-content/uploads/CNI_Brazil_GVC_Report_Final_2013-09-05.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2018.
- VINHOLES, T. Embraer apresenta E195-E2, o maior avião desenvolvido no Brasil. *Airway Uol*, p. 2, 2017. Disponível em: <<https://airway.uol.com.br/embraer-apresenta-e195-e2-o-maior-aviao-desenvolvido-no-brasil/>>.

Cooperação e competição no singular SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

A criação de um sistema interligado de geração e transmissão de energia elétrica de base hídrica, em um enorme território tropical que abriga rios caudalosos e extensos, foi uma façanha tecnológica de primeira ordem. A operação conjunta e planejada permite que o sistema disponha de uma energia garantida 20% superior à soma das energias ofertadas pelas usinas, vistas isoladamente. Isso equivale praticamente a uma usina de Itaipu. As modificações que vêm sendo introduzidas desde a década de 1990 violentam a lógica cooperativa original, aumentando a complexidade operacional e diminuindo a eficiência e a confiabilidade do setor.



**Roberto Pereira
D'Araújo**

Engenheiro eletricista,
ex-chefe do
Departamento de Estudos
Energéticos e de Mercado
de Furnas Centrais
Elétricas, diretor do
Instituto de
Desenvolvimento
Estratégico do Setor
Elétrico (Ilumina).

Introdução

Muito se diz que a grande novidade atual, na economia e na sociedade, é a crescente conectividade entre equipamentos e entre pessoas. Poucos sabem, no entanto, que o sistema elétrico brasileiro antecipou em décadas esse conceito, criando uma solução tecnológica de ponta e adaptada às condições do país.

A história começa no Projeto Canambra, consórcio formado por duas empresas canadenses de consultoria – a Montreal Engineering e a Crippen Engineering –, contratado pelo governo brasileiro e o Banco Mundial em 1962, o mesmo ano de fundação da Eletrobras. O objetivo era realizar estudos sobre o potencial hidrelétrico e de mercado da região Sudeste. Nasceram ali o trabalho pioneiro de

planejamento integrado do nosso setor elétrico e o primeiro levantamento detalhado do potencial hidrelétrico brasileiro, com um estudo de todos os rios regionais, da cabeceira à foz.

Em 1964, um decreto estabeleceu que a Eletrobras seria responsável por acompanhar a execução dos projetos propostos. Em 1967, com a aprovação do relatório final, a missão da Eletrobras foi expandida para as regiões Norte e Nordeste, o que demandou a criação de mais duas subsidiárias regionais.

O estudo revelou que tínhamos uma geografia muito favorável para a exploração de potenciais hidráulicos. Mas o entrelaçamento do nosso sistema elétrico, na forma de uma rede integrada, ainda estava por ser imaginado. Para compreendê-lo, precisamos olhar a nossa geografia.

O território brasileiro

As coordenadas geográficas são uma maneira de representação cartográfica formada por linhas imaginárias – latitudes e longitudes – e usada para representar e localizar qualquer ponto da superfície terrestre. A latitude (ou “paralelo”) é a distância, em graus, de qualquer ponto em relação à linha do Equador.

Considerando territórios contíguos, o Brasil abrange 39 graus, desde 5°16’ de latitude no ponto mais ao norte (Parque Nacional de Monte Roraima) até 33°44’ no extremo sul, na fronteira com o Uruguai. A Rússia vem em segundo lugar, com uma diferença de 36,5°: o ponto mais setentrional está em 77°43’ e o mais meridional em 41°11’. O Chile vem em terceiro, com 36,4°, de 17°30’ a 53°53’.

Temos quatro tipos de clima: equatorial úmido no Norte, tropical no Sudeste e no Centro-Oeste, tropical semiárido no Nordeste e subtropical úmido no Sul. Além disso, possuímos grande quantidade de recursos renováveis, entre os quais se destacam cerca de 8.233 quilômetros cúbicos de água doce, 12% da quantidade disponível do mundo. A Amazônia brasileira guarda mais de 70% desse total.

Muitos rios percorrem grandes extensões antes de desaguar no mar: o Paraná tem 3.942km; o São Francisco, 2.800km; o Madeira, 3.315km; o Tocantins, 2.700km. São «rios de planalto». Nelas, as declividades onde podem se localizar as usinas ocorrem entre duas superfícies razoavelmente planas. Ao se represar um rio desse

tipo formam-se grandes reservatórios.

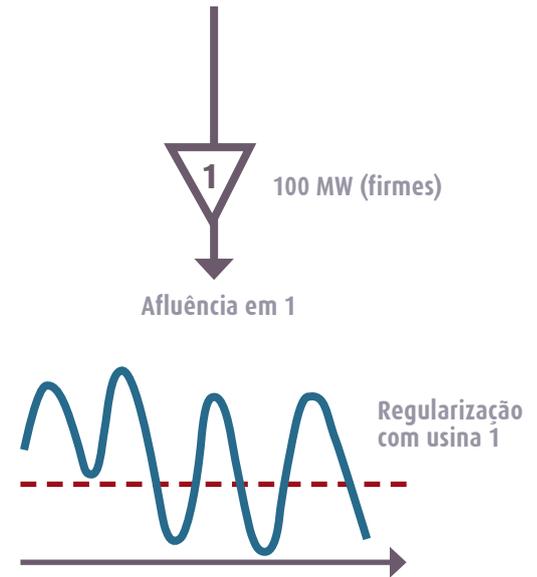
É antiga a ideia de implantar um setor elétrico baseado em usinas hidráulicas. A necessidade de industrializar o país a impulsionou. Grandes represas causam impactos nas respectivas regiões, mas elas não surgiram por megalomania ou pela obsessão por obras “faraônicas”, como muitas vezes se diz. Isso decorre da geografia brasileira.

Nosso extenso território, dotado dessas características, proporciona grandes vantagens, que, em certo momento, soubemos explorar. O Brasil compreendeu suas singularidades geográficas e construiu um sistema hidrelétrico com características próprias, dotado de eficiência inigualável.

A melhor maneira de entender isso é imaginar o setor surgindo do zero. Suponha um rio onde um investidor construa a usina 1, com 100MW garantidos (repare que 100MW não são a potência da usina, mas sim a quantidade de energia que ela pode fornecer continuamente). A Figura 1 mostra que a afluência é muito variável. Graças ao reservatório, porém, a usina consegue regularizar essas variações e garantir uma energia equivalente à linha tracejada. Ao estocar água, ele garante energia firme. Parte das afluências maiores se perde, pois o reservatório não tem capacidade para armazená-las até o próximo período seco.

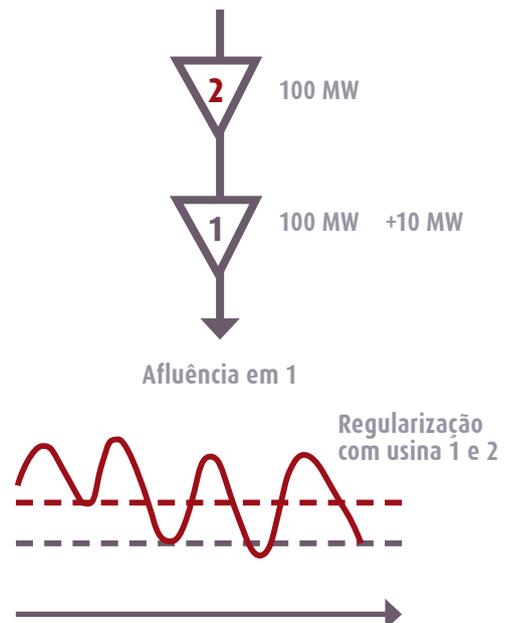
Vamos supor que, em um segundo momento, outro investidor constrói mais uma usina, rio acima, com a mesma capacidade. Como a usina 2 também tem reservatório, ela regulariza ain-

Figura 1 | Situação em uma usina isolada

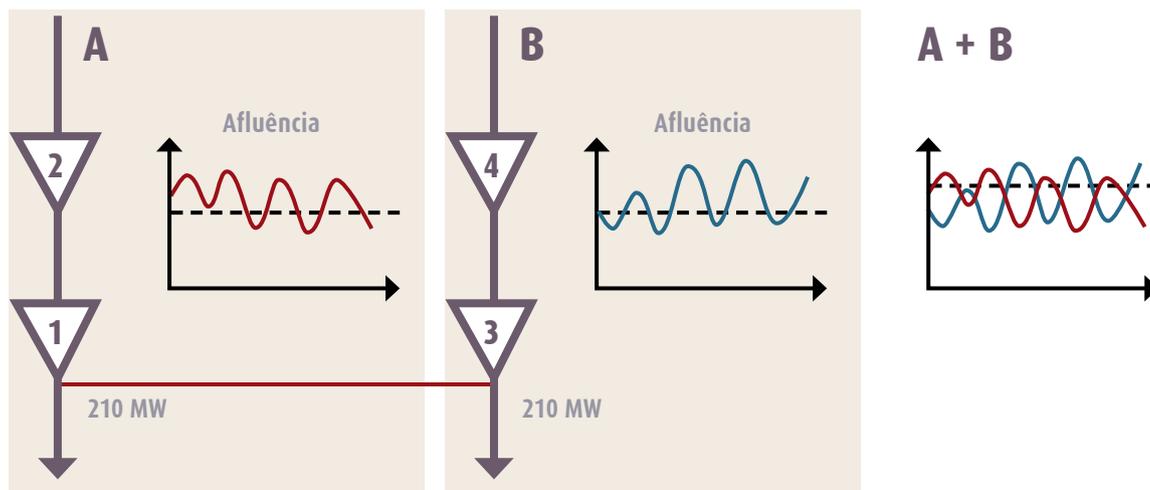


AS AFLUÊNCIAS OSCILAM (CURVA CONTÍNUA), MAS A EXISTÊNCIA DE UM RESERVATÓRIO PERMITE QUE A USINA POSSA GARANTIR UMA ENERGIA FIRME (LINHA TRACEJADA).

Figura 2 | Situação com duas usinas em sequência



A EXISTÊNCIA DE UMA SEGUNDA USINA A JUSANTE DA PRIMEIRA, AMBAS COM RESERVATÓRIOS, PERMITE REGULARIZAR MAIS O FLUXO DO RIO E AUMENTAR A ENERGIA FIRME DA USINA 1, SEM A INSTALAÇÃO DE NENHUMA TURBINA NOVA.

Figura 3 | Papel de uma linha de transmissão

UMA LINHA DE TRANSMISSÃO QUE CONECTE USINAS SITUADAS EM DOIS RIOS DIFERENTES TAMBÉM AUMENTA A ENERGIA FIRME DISPONÍVEL PARA O SISTEMA (LINHA TRACEJADA).

da mais o fluxo do rio, de modo que a afluência percebida pela usina 1 se torna mais bem-comportada: as secas não são tão profundas (curva oscilante na Figura 2). Assim, a energia firme da usina 1 aumenta. Agora, ela produz 110MW firmes, sem ter aumentado sua capacidade, ou seja, sem novas turbinas. É a gestão da água que possibilita isso.

Surge, então, uma dúvida: quem é o proprietário desses 10MW firmes que surgem sem que nenhum novo equipamento tenha sido adicionado? Pode ser a usina 1, pois quem gera essa capacidade são as suas máquinas. Também pode ser a usina 2, pois foi ela que alterou o comportamento da afluência percebida na usina 1. Podem ser as duas, mas em que proporção? Que critério se deve adotar?

Não há resposta razoável a este problema, pois é impossível separar as funções de maneira clara

e incontroversa. E, como a hidrologia varia ao longo do tempo, esse efeito também varia. Tanto o reservatório 2 quanto a usina 1 são importantes para garantir a energia que será gerada.

Até aqui não há grandes diferenças em relação a sistemas elétricos instalados em alguns outros países, a não ser pela combinação das variações de afluências (maiores em regiões tropicais) e pelos reservatórios. Mas o jogo não acabou. Assim como ocorreu no primeiro rio (A), algo parecido ocorre em outro (B). Lá, as usinas 3 e 4, iguais às 1 e 2, perceberam o mesmo efeito e se associaram para explorar 210MW.

Então, outro investidor, analisando os dados, resolve construir uma linha de transmissão que una os dois sistemas (A e B). O rio B tem uma hidrologia diferente da do rio A. Quando A tem afluências mais baixas, B tem afluências mais altas. Agora, surpreendente-

mente, como mostra a Figura 3, em vez de a soma das energias firmes anteriores se manter fixa, aparecem mais 20MW firmes!

Essa diversidade de hidrologias é típica de países com grande latitude. Ela confere às nossas linhas de transmissão uma função inédita entre os sistemas elétricos de todo o mundo, pois o mercado passa ser atendido simultaneamente por grande número de usinas espalhadas pelo território nacional.

Ao possibilitar despachos em grande escala entre as regiões, o sistema de transmissão passa a se comportar como um “reservatório ambulante”, pois é capaz de “relocalizar” a reserva de água, evitando vertimentos inúteis. Corretamente dimensionadas, as linhas também são capazes de esvaziar determinados reservatórios, estrategicamente escolhidos, programando seus volumes de espera e transformando maior quantidade de chuva futura em kWh. Quanto maior a capilari-



CREATIVE COMMONS

dade do sistema de transmissão, maior a probabilidade de que as afluições em todo o sistema (agora, A+B+T) sejam transformadas em kWh em algum momento.

O jogo ainda não acabou. Imagine que outro investidor resolva construir uma usina térmica conectada ao sistema A+B+T (Figura 4). Com essa nova usina, todo o sistema ganha ainda mais energia firme, mesmo que a nova usina não gere nenhum MWh! Pois, embora desligada, ela funciona como um seguro, permitindo que os reservatórios sejam operados de maneira mais arrojada.

Por precaução, A+B não podem reduzir muito o volume dos seus reservatórios. Porém, nos períodos chuvosos perde-se água, pois é necessário deixá-la escoar sem gerar energia, por falta de espaço para armazená-la. Com a disponibilidade da térmica, que pode ser acio-

nada em caso de necessidade, o sistema A+B+T pode arriscar mais, vertendo mais água no presente e abrindo mais espaço nos reservatórios para uma quantidade de chuva que, antes, não podia ser guardada.

Este efeito ocorre em qualquer sistema de base hídrica, mas não nas proporções brasileiras. A energia garantida do nosso sistema, visto como um todo, é 20% maior do que a soma das energias garantidas das usinas, vistas isoladamente. Ou seja, o complexo de linhas que interligam o sistema “oferece” 20% extras na garantia total. Hoje, isso significa praticamente a energia de Itaipu, a maior usina do Hemisfério Americano.

Esse exercício imaginário mostra que se o sistema brasileiro tivesse sido desenvolvido a partir de iniciativas individuais, os agentes perceberiam rapi-

damente a necessidade de se associar. Dada a singularidade da nossa geografia, essa associação inclui necessariamente as usinas (térmicas e hidráulicas) e as linhas. Estamos diante de um monopólio natural. Para ser eficiente, o sistema deve ser planejado e manejado como uma só empresa.

A conectividade do sistema elétrico

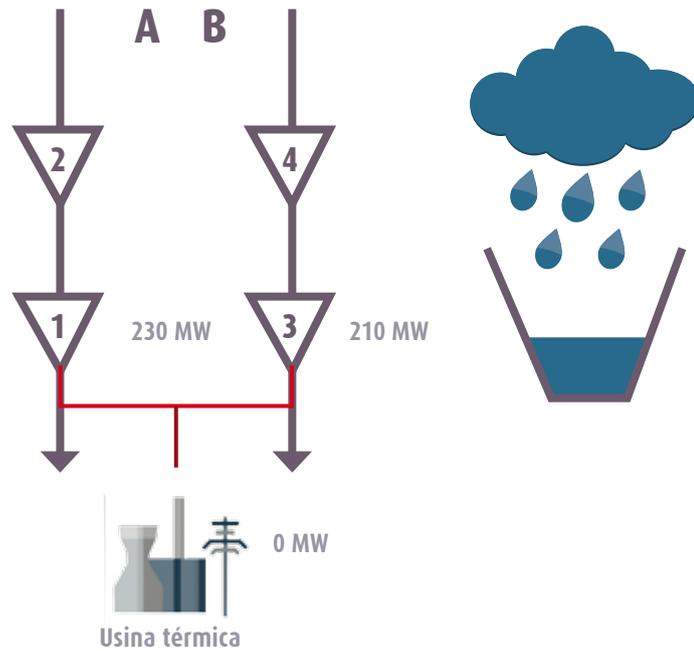
As Figuras 5 e 6 mostram o desenvolvimento da conectividade elétrica brasileira, tendo como referência 1970 e 2017.

Para se ter uma ideia do tamanho do nosso sistema de transmissão, basta desenhá-lo sobre o mapa da Europa, como aparece na Figura 7: as linhas unem Portugal até a Suécia e quase até Moscou.

Como se justifica um sistema único que cobre um território equivalente ao

No Brasil, não se decide apenas onde se deve gerar, mas também quando se deve gerar. Cada gota d'água mantida em reserva contém um desafio: quando devemos usá-la? Esse dilema não existe em sistemas de base térmica.

Figura 4 | Integração de uma usina térmica em um sistema hídrico



A EXISTÊNCIA DE UMA USINA TÉRMICA, MESMO DESLIGADA, AUMENTA A ENERGIA OFERTADA PELO SISTEMA, POIS PERMITE UM MANEJO MAIS ARROJADO DOS RESERVATÓRIOS DAS USINAS HIDRÁULICAS.

Figura 5 | O sistema de transmissão na década de 1970



Figura 6 | O sistema de transmissão em 2017

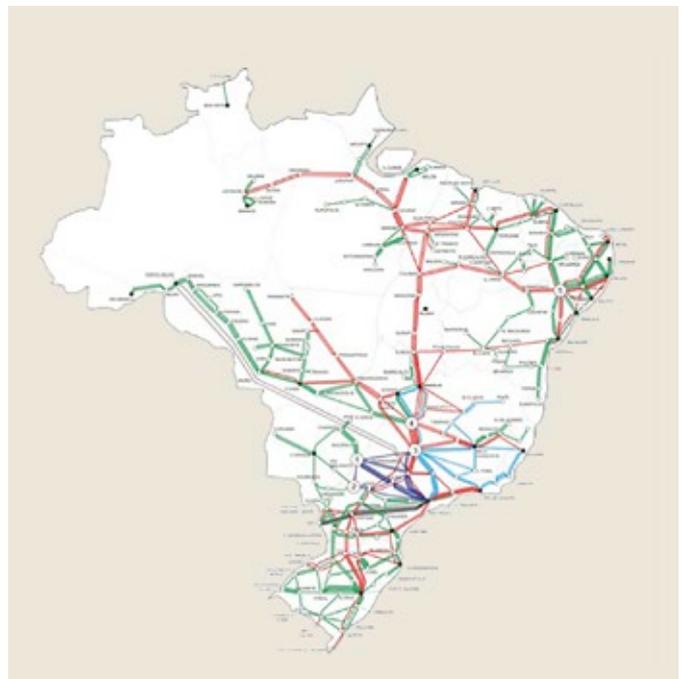


Figura 7 | Sistema brasileiro de transmissão aplicado sobre o mapa da Europa



da Europa? O sistema brasileiro de transmissão pode ser considerado exagerado?

A Figura 8 representa a quantidade de energia intercambiada entre as regiões Sudeste e Sul. Os valores positivos representam a energia enviada pelas usinas da região Sudeste para a Sul, e os valores negativos representam o intercâmbio em sentido contrário. Como se vê, é comum que esse essa troca ultrapasse 2.000MW médios.

Vejam os que isso significa. A usina de Itumbiara, localizada no Rio Paranaíba, com 2.082MW instalados, tem uma energia firme de aproximadamente 1.000MW médios. Intercambiar 2.000MW médios equivale a “transportar”

duas usinas como Itumbiara através das linhas. Para enfatizar essa singular situação do sistema brasileiro, basta lembrar que, em alguns meses, mais de 50% do consumo da região Sul é atendido por usinas do Sudeste.

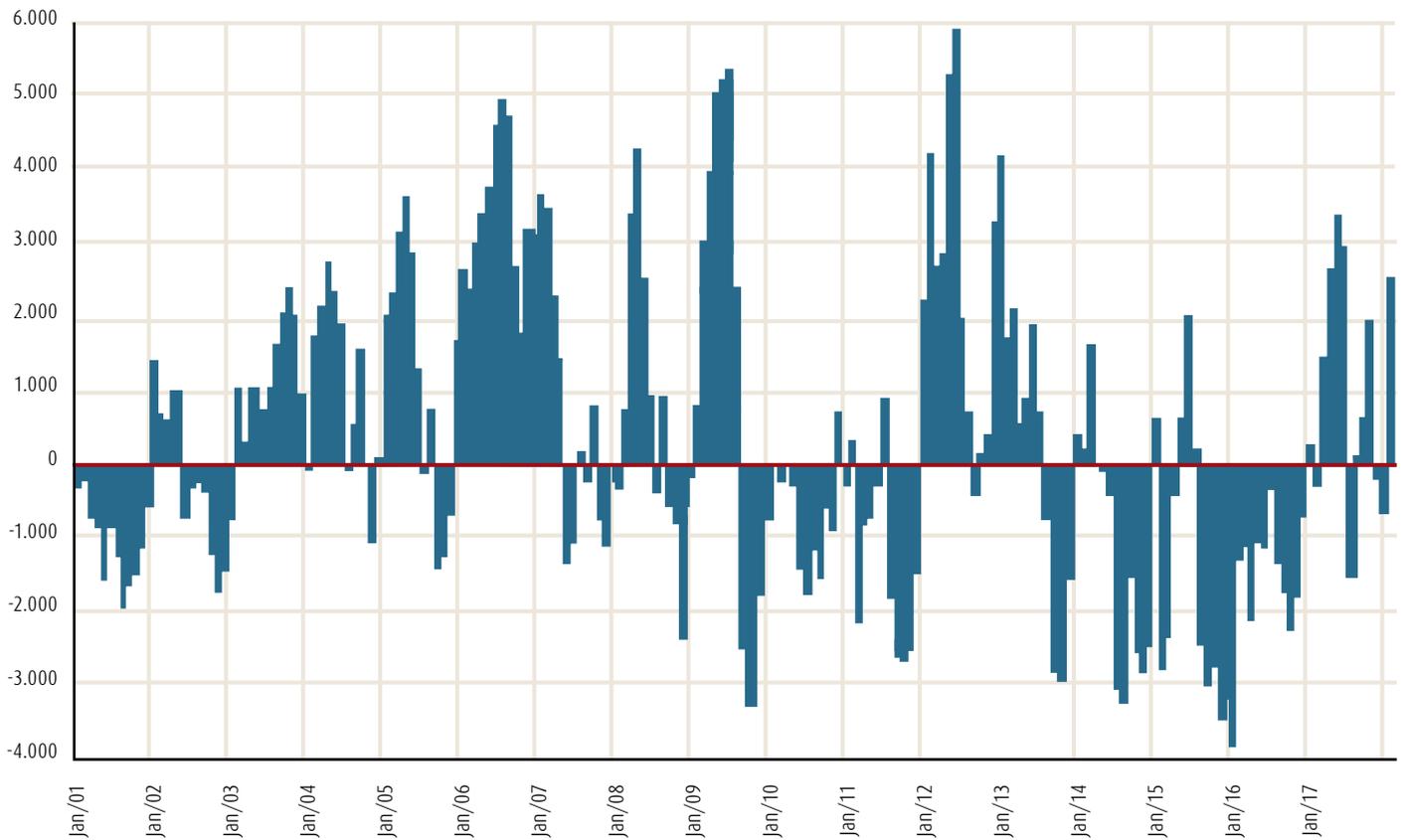
Há grande variação na geração de cada usina, que depende tanto da hidrologia regional quanto da lógica inter-regional do sistema interligado. Por isso, o sistema brasileiro só pode ser corretamente manejado a partir de uma visão de conjunto. Ela estava a cargo dos comitês de operação e planejamento, coordenados pela Eletrobras. Sempre houve diversas empresas distribuidoras e geradoras, mas o planejamento

da operação e da expansão era debatido profundamente nesses comitês, com as decisões sendo submetidas a críticas e aprovações. Elas não dependiam apenas da diversidade hidrológica decorrente da geografia.

Como vimos, nossos rios de planalto propiciaram a construção de grandes reservatórios. Quando cheios, eles podiam armazenar energia equivalente a quase dois anos de consumo. Com o crescimento da carga e a impossibilidade de adicionar novos reservatórios no ritmo do crescimento da demanda, o período coberto pela reserva diminuiu com o tempo, atingindo hoje cerca de cinco meses, ainda um recorde mundial. (Essa relação não considera nenhuma outra fonte. Por exemplo, se for possível definir uma fonte alternativa à hidreletricidade que tenha custos razoáveis e se responsabilize por 25% da carga, a reserva comparada com o consumo “líquido”, descontada a fonte não hidráulica, sobe para sete meses.)

Como se sabe, está em curso uma redução significativa dos custos de novas fontes sustentáveis, principalmente a solar e a eólica. Neste novo contexto, o diferencial do sistema brasileiro ainda poderá ser o tamanho de sua reserva de energia.

Essa característica traz outra singularidade operacional: no Brasil, não se decide apenas onde se deve gerar, mas também quando se deve gerar. Cada gota d’água mantida em reserva contém um desafio: quando devemos usá-la? Esse dilema não existe em sistemas de base térmica.

Figura 8 | Intercâmbio de energia entre as regiões Sudeste e Sul

A tentativa de fragmentar o sistema

Na década de 1990, decidiu-se implantar um modelo baseado na competição, e não na cooperação, fragmentando algo que sempre fora tratado de forma global. Isso exigiu alto grau de mimetismo com sistemas de base térmica. Com um sistema elétrico marcado por características únicas, o Brasil decidiu ignorar suas especificidades e implantar um modelo competitivo por energia e por usina. Foi um processo muito problemático.

A insistência no erro e a ausência de revisões estruturais, sempre sob pressão de interesses comerciais, transformaram em vítimas tanto os consumidores quanto a Eletrobras, usada para tentar “consertar” os defeitos do novo modelo, que apareciam em sequência.

Desde o início do processo, os técnicos do setor sabiam que seria praticamente impossível implantar um sistema em que as usinas competem entre si a partir da energia gerada por cada uma. Como a estratégia ótima de geração depende de uma vi-

são de conjunto, decisões individuais provocariam conflitos e ineficiências. Como uma usina hidrelétrica pode compatibilizar a necessidade de gerar energia e a obrigação de guardar água? A primeira depende do mercado, tal como a usina o vê, enquanto a segunda decorre da óptica monopolista do Operador Nacional, que analisa o sistema como um todo. No caso brasileiro, nem mesmo usinas no mesmo rio pertencem a uma mesma empresa. Os conflitos poderiam ocorrer já no primeiro estágio, que mostramos na Figura 2.

Para tentar contornar esses conflitos, implantou-se uma metodologia complexa e subjetiva, com a emissão de um certificado que, teoricamente, representa a contribuição de cada usina à capacidade total. A partir dele, cada uma recebe permissão para comercializar sua energia. O sistema é puramente financeiro e virtual. Depende de acertos contábeis subjetivos. A complexidade é de tal ordem que inviabilizaria um texto analítico. Listaremos três grandes diferenças com sistemas energéticos realmente competitivos:

1. Em sistemas de base térmica, a soma das capacidades individuais define a capacidade total. No singular sistema brasileiro ocorre o contrário: define-se primeiro o total e depois se estabelece a parcela associada a cada usina.
2. Como a proporção de hidráulicas é significativa e temos uma hidrologia tropical, há uma incerteza estatística quando se busca um único valor na emissão do certificado.
3. Diante da existência de grandes reservatórios e da incerteza sobre as aflúncias futuras, as trajetórias estimadas da reserva admitem a possibilidade de ocorrer déficit de energia. Foi preciso, portanto, estimar um parâmetro subjetivo, o custo desse déficit para todo o país. Ele passou a influenciar os valores de curto prazo, pois varia para cada nível da reserva: quanto mais baixos os reservatórios, maior a influência do custo do déficit.

Essa é uma amostra da imensa lista de diferenças em relação a sistemas nos quais a produção de energia gera competição real.

Contra todas as evidências, o país adotou a individualização da energia das usinas. Independentemente da origem de sua energia primária (hidro, térmica, eólica ou solar), a cada usina foi associado um certificado emitido por um modelo matemático que calcula uma “garantia física”, a suposta contribuição de cada uma para a oferta de energia total. Esse valor passou a definir os leilões na maioria dos projetos. A metodologia de cálculo, extremamente complexa, exhibe grandes vulnerabilidades.

Como o período de concessão das usinas é de trinta anos, as que já existiam quando o modelo foi implantado receberam o certificado de garantia física em uma época em que os reservatórios proporcionavam maior conforto, pois a demanda de energia era aproximadamente a metade da atual e a estratégia de operação era outra. De lá para cá, os parâmetros que definem a divisão da garantia total por cada usina foram alterados. Entretanto, como há interesses comerciais fixados em contratos, o valor não pode ser alterado.

A evidente inconsistência entre certificados de garantia física emitidos com décadas de diferença gerou uma superavaliação da capacidade total, pois os certificados nunca foram revistos. Isso acarretou custos para o consumidor, pois o otimismo da “garantia” tem que ser compensado com a construção de outras usinas. A solução encontrada foi promover

leilões de “energia de reserva” paga através de encargos. Mas, como algo denominado “garantia física” precisa de energia de reserva? Na realidade, a “energia de reserva” tenta corrigir a superavaliação, que impõe um risco maior do que o admitido nos planos. De 2008 até 2017, esse sobrecusto atingiu R\$ 150 bilhões.

Vejamos dois exemplos de certificados de “garantia física”, comparados com a geração real nos últimos catorze anos.

A usina de Furnas, inaugurada em 1963 no rio Grande (MG), tem uma potência de 1.216MW. A Figura 9 mostra a geração mensal da usina em MW médios (MW médio é a energia média numa unidade qualquer de tempo; no caso do dado mensal, cada MW médio equivale a 730 MWh, pois, em média, cada mês tem, em média, 730 horas). No modelo mercantil brasileiro, a grandeza fixa denominada “garantia física”, associada a Furnas, é de 583MW médios. Em anos passados ela gerou bem acima disso e em anos recentes tem gerado bem abaixo.

Em contraste com a usina de Furnas, a Figura 10 refere-se à usina térmica a gás instalada em Juiz de Fora (MG). A garantia física dessa térmica foi avaliada em 78MW médios, mas raramente ela gerou algo próximo a esse valor.

Como se vê, a garantia física de uma usina pode ter pouca relação com sua geração real. A garantia está contabilizada como oferta de energia, mas, na verdade, quem gera são usinas mais baratas, notadamente as hidráulicas.

Esse é um aspecto muito importante e pouco entendido. No

Figura 9 | Geração (linha oscilante) e garantia física (linha reta) da usina hidrelétrica de Furnas

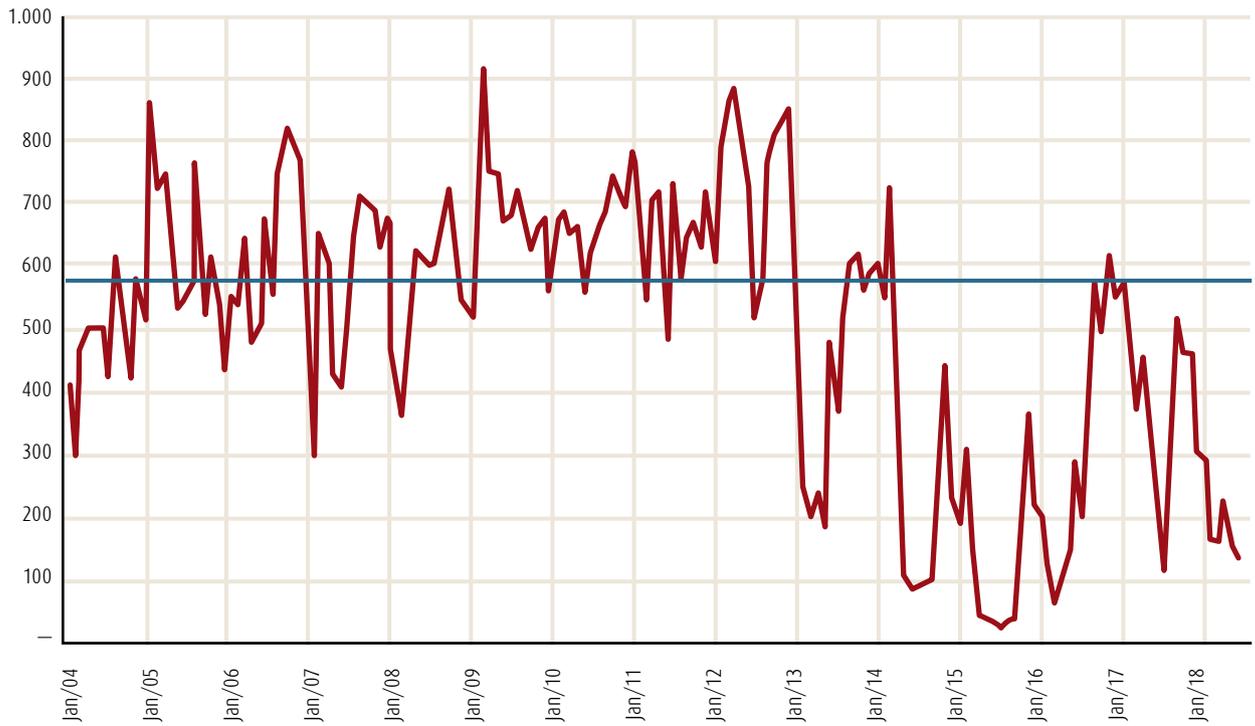
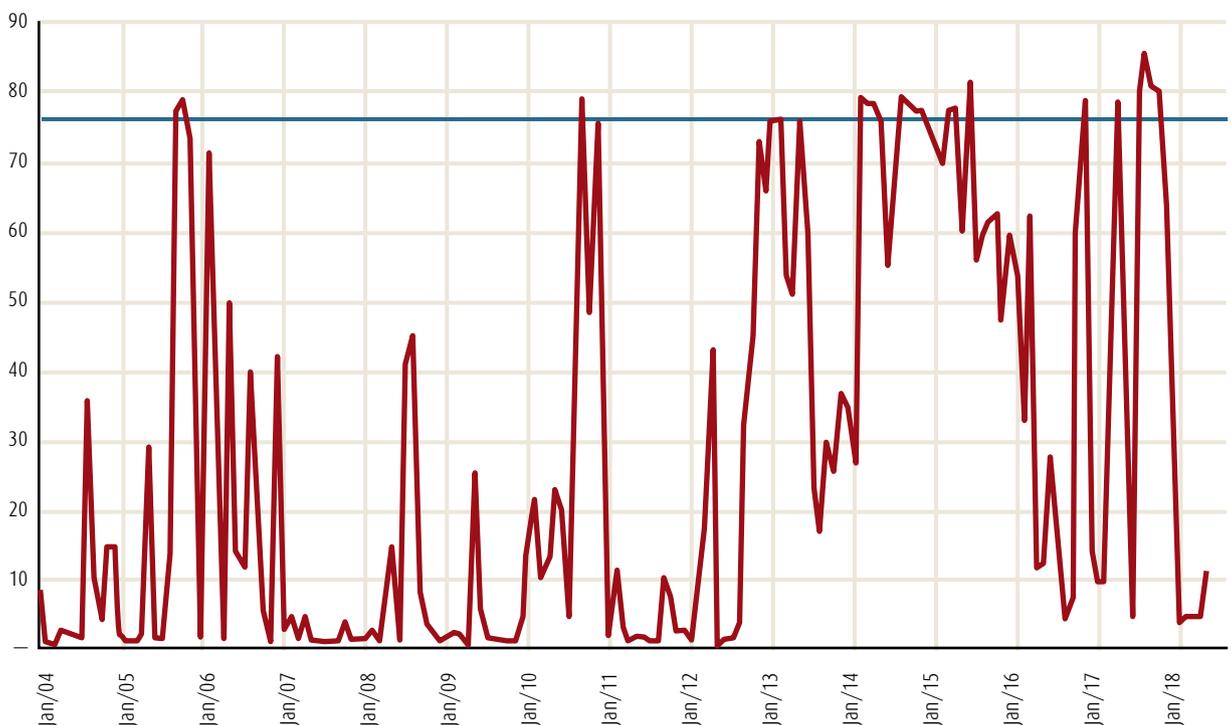


Figura 10 | Geração (linha oscilante) e garantia física (linha reta) da usina térmica de Juiz de Fora



É impossível implantar um modelo em que as usinas competem entre si a partir da energia gerada por cada uma. A estratégia ótima depende de uma visão de conjunto.

sistema brasileiro, se a oferta se expande com térmicas caras, isso significa que parte da reserva hídrica será usada para substituir essa geração. Ao contrário do que se pensa, algumas térmicas ajudam a esgotar os reservatórios, dependendo do custo de operação.

A Figura 11 mostra o que ocorre quando se considera a geração e a garantia física do conjunto das usinas térmicas do sistema (MW médios).

Toda a área entre a curva azul (garantia física) e a vermelha (geração real) é oferta de energia com garantia especificada no sistema. Se as térmicas não geram essa energia, só há duas possibilida-

des: ou essa energia é uma “sobra” ou as hidráulicas geraram em seu lugar. Como exemplo dessa substituição, a troca de energia entre térmicas e hidráulicas, de 2004 a setembro de 2012, foi equivalente a 470 TWh, cerca de 80% da energia consumida no sistema em um ano.

O outro lado dessa excentricidade pode ser visto quando examinamos os mesmos dados, mas para todas as hidráulicas (Figura 12). Aqui se observa o inverso. Até setembro de 2012, na maior parte do tempo, as hidráulicas geraram acima de sua garantia física. Como elas têm custos bem menores do que as térmicas, algumas questões ficam no ar:



Figura 11 | Geração verificada (em vermelho) e garantia física associada a todas as térmicas do sistema (em azul)

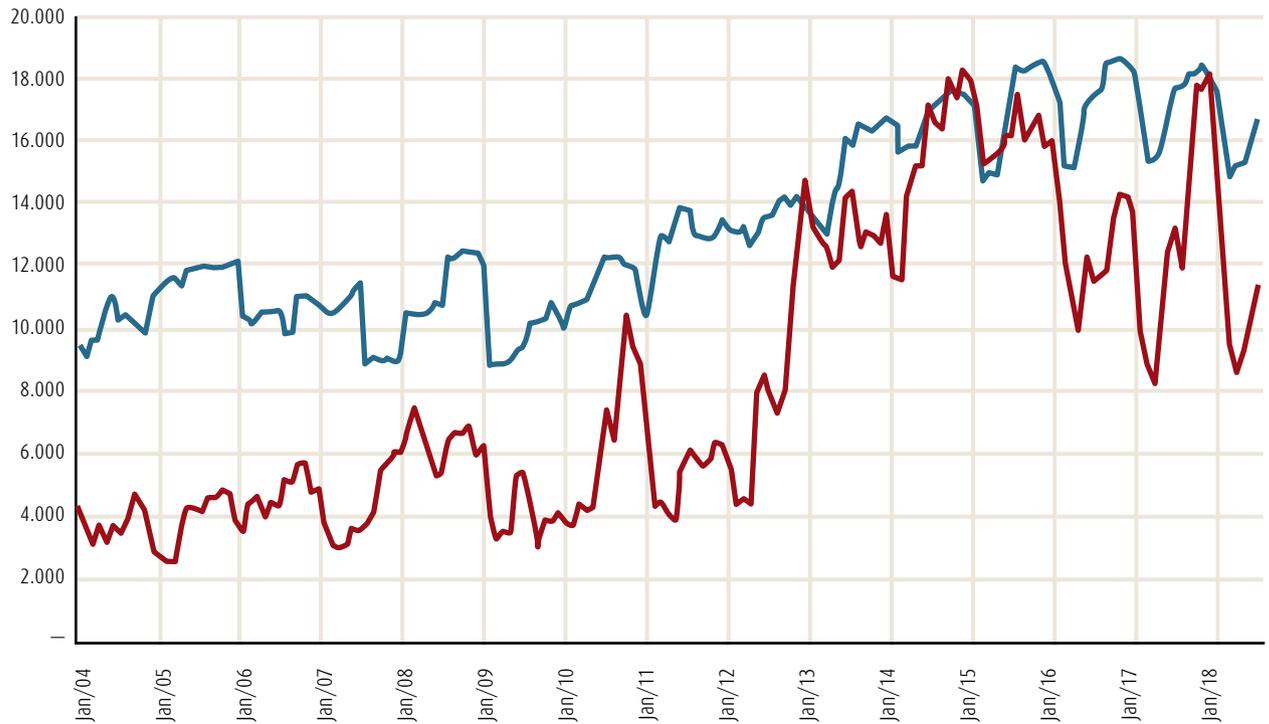
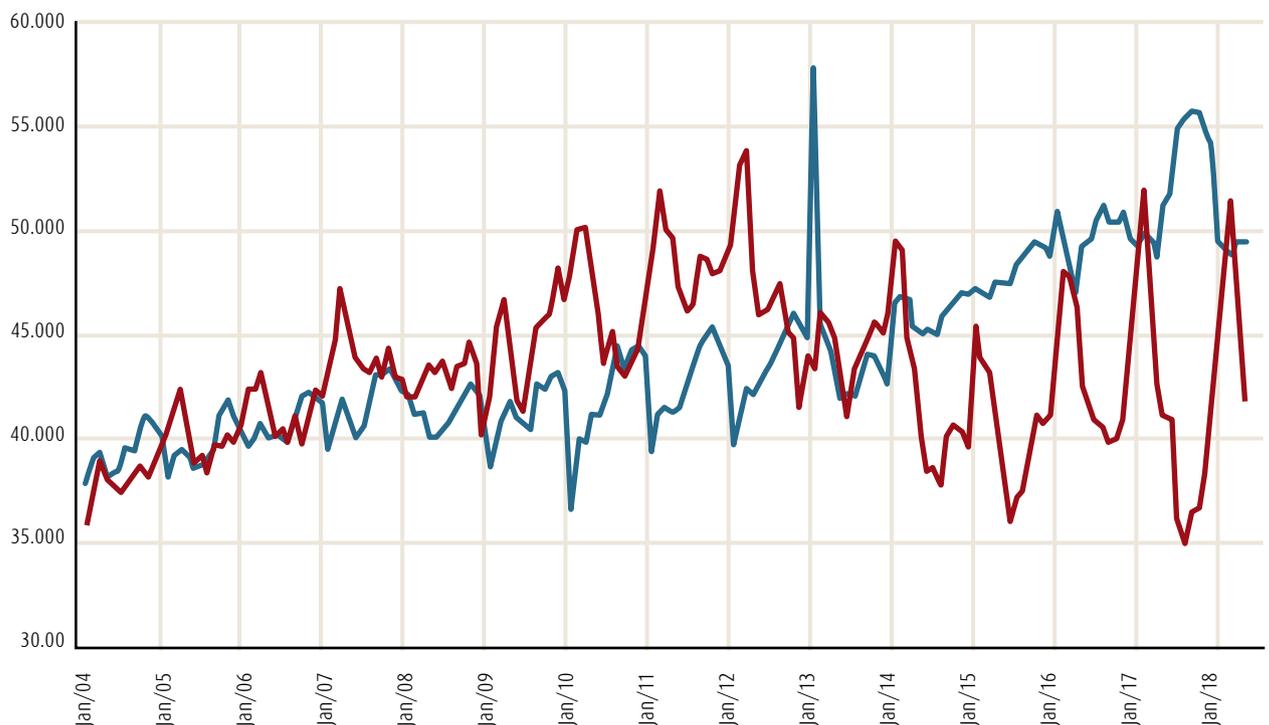


Figura 12 | Geração (em vermelho) e garantia física associada a todas as hidráulicas do sistema (em azul)



1. Se as hidráulicas geram acima de sua garantia física e com custos menores, quem se apropria dos ganhos?
2. Nos últimos quatro anos, invertendo a situação anterior, as hidráulicas apresentam um grande déficit de geração, quando usamos a garantia física como referência. Que tipo de compensação existiu entre esses dois eventos opostos?
3. Por que essa mudança de hidráulicas superavitárias para deficitárias coincide com a edição da medida provisória do governo Dilma que interveio nas tarifas (setembro de 2012)?

Para entender o que ocorreu é preciso compreender os mercados brasileiros.

Os dois mercados de energia brasileiros

Na Inglaterra, o processo de liberação e privatização exigiu quinze anos de estudos e debates. O Brasil, com um território muito maior e um sistema muito mais complexo, fez tudo em cinco anos.

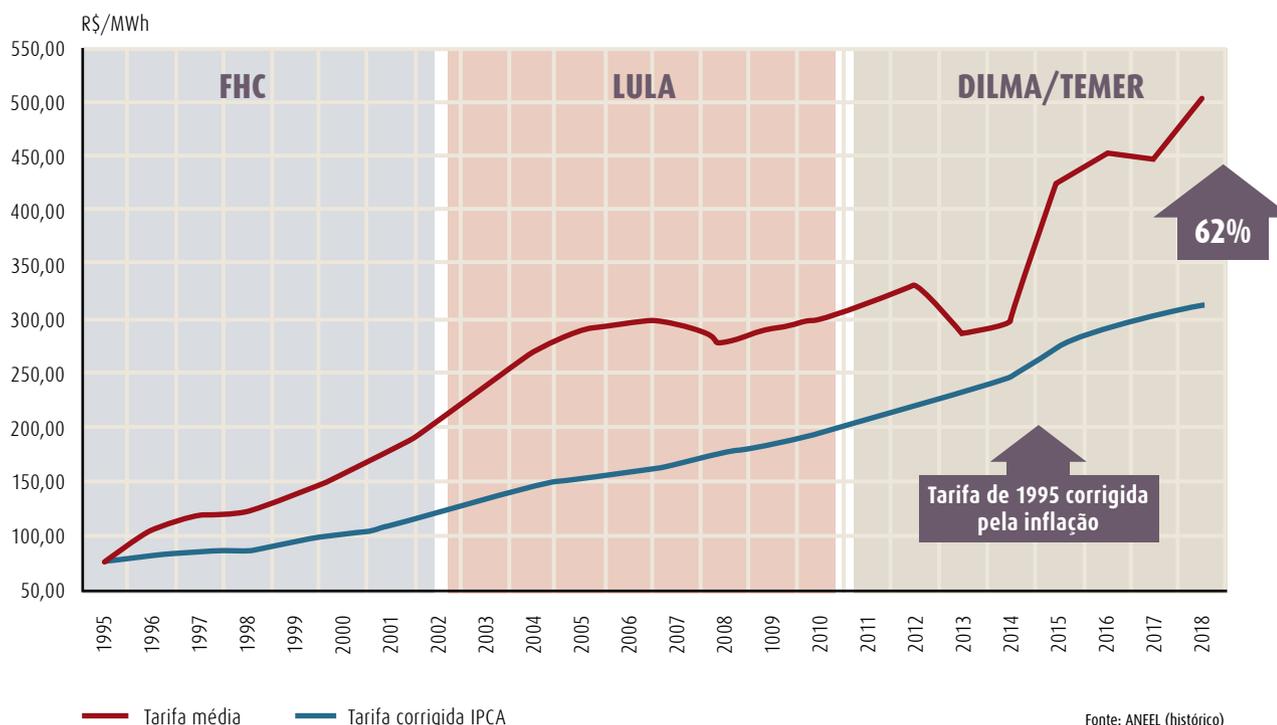
Os setores elétricos do Brasil e da Inglaterra são muito diferentes. Mesmo assim, o governo brasileiro contratou a consultoria da empresa inglesa Coopers&Librand, que nos trouxe as receitas genéricas em voga na década de 1990, aplicáveis a qualquer sistema, independentemente das suas características físicas. Foi uma espécie de *one size fits all* no mundo comercial. É claro que a adoção de um modelo competitivo exigiu

uma considerável adaptação, que os analistas e a sociedade desconhecem.

A privatização foi interrompida pelo racionamento de 2001, uma tragédia anunciada num país que havia parado de investir na expansão e passado a vender usinas prontas. Para conter os investimentos da Eletrobras, que seria privatizada, deixaram de ser construídas até linhas de transmissão, cuja necessidade era óbvia. Por que empresas privadas teriam interesse em investir em novas usinas se estavam à venda ativos prontos, que geravam faturamento imediato?

Outra seqüela foram as distribuidoras rejeitadas pelo mercado. A Eletrobras teve que absorvê-las, assumindo uma área que nunca foi sua especialidade.

Figura 13 | Evolução da tarifa média residencial comparada com a inflação (exclusive impostos)



Fonte: ANEEL (histórico)

A partir do marco zero em 1995, o Brasil implantou um sistema de mercado livre e outro de contratação regulada. As relações comerciais se estabelecem no ambiente de contratação regulada (ACR, onde atuam as distribuidoras) e no ambiente de contratação livre (ACL, onde estão, basicamente, os grandes consumidores). No mercado de curto prazo são contabilizadas e liquidadas as diferenças entre os montantes gerados, contratados e consumidos. Como vimos nos exemplos das usinas de Furnas e de Juiz de Fora, essas diferenças podem ser significativas. Chega a ser chocante contemplar as disparidades de preço que foram registradas nos dois ambientes. As Figuras 13 e 14 mostram a evolução das tarifas médias residenciais

e industriais das distribuidoras em três governos.

Nas residências, como há muitos consumidores de baixa renda, a trajetória de quem não recebe subsídios pode ser bem pior. Nas indústrias, geralmente de pequeno porte, a elevação de preços é impressionante.

Considerando todos os encargos, a transmissão, a distribuição e os impostos, o valor do MWh residencial atingiu R\$ 1.000,00, pelo menos o dobro dos preços praticados em países com configurações semelhantes à nossa, como Canadá e Noruega.

Não é possível obter os preços médios dos ambientes de contratação livre. O que se consegue coletar é o preço de liquidação de diferenças (PLD), que, no caso bra-

sileiro, também é singular. Ele não reflete uma iteração de compradores e vendedores, como em mercados semelhantes. O PLD nada mais é do que o custo marginal de operação (CMO), um parâmetro calculado pelo Operador do Sistema, que desconhece completamente as relações comerciais. Na realidade, é um cálculo econômico do valor do MWh reservado em cada momento, tendo como referência um cenário futuro de evolução das afluências, da carga e até da expansão do sistema. Reflete, portanto, uma óptica global de controle de estoque, sob um ponto de vista monopolista (Figura 15).

Qualquer comparação do mercado brasileiro de curto prazo com outros mercados de energia mostra algo bizarro. Como decorrência da

Figura 14 | Evolução da tarifa média industrial comparada com a inflação (exclusive impostos)

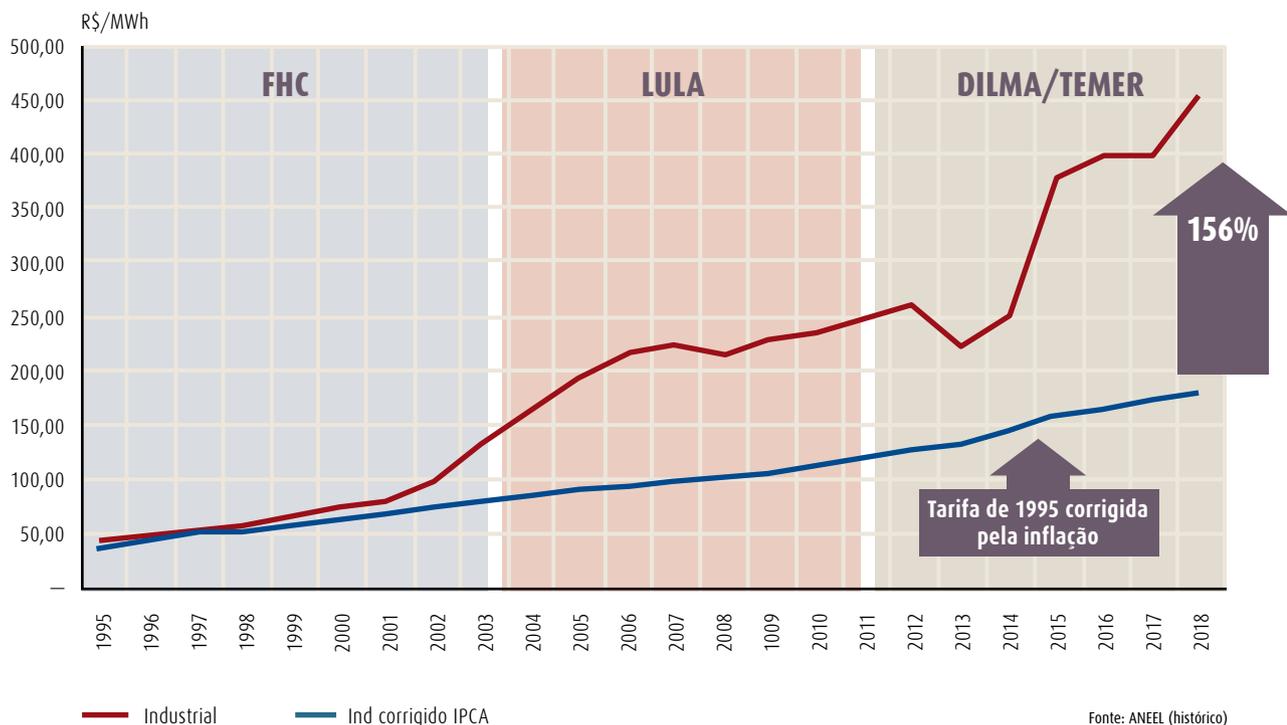
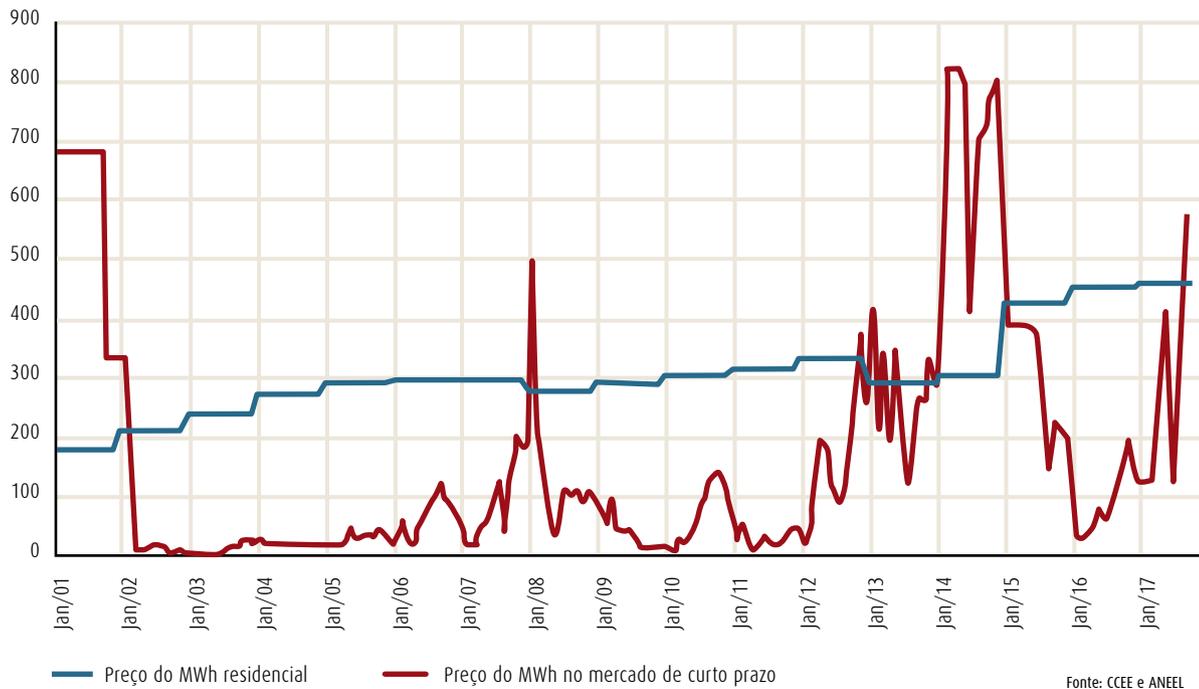
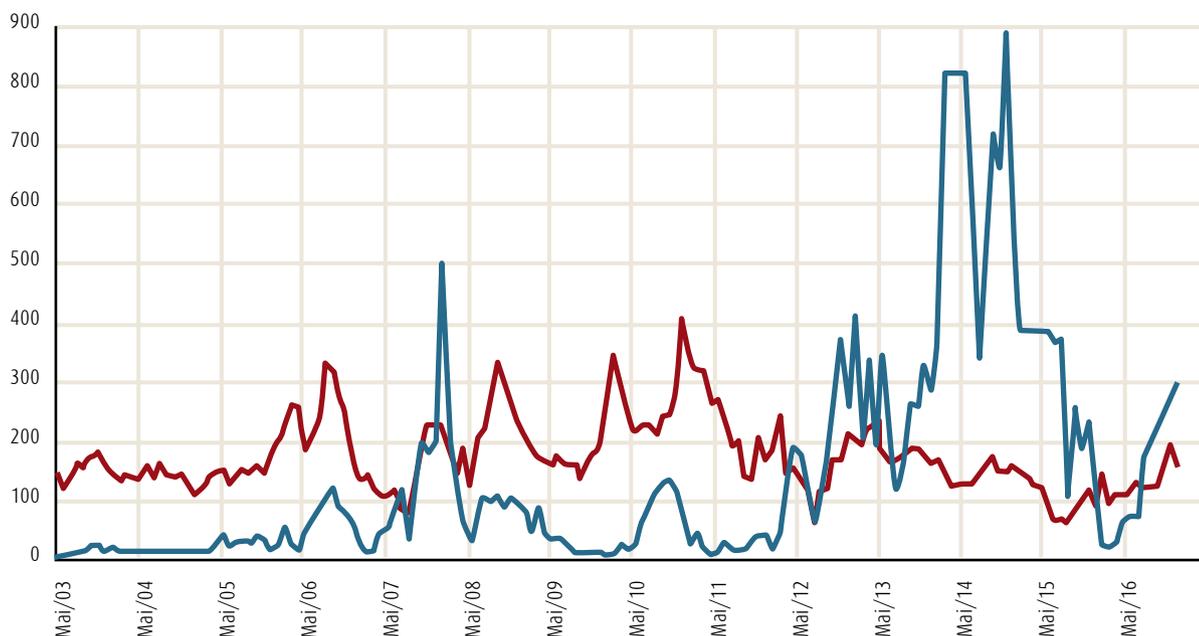


Figura 15 | Preço de curto prazo (PLD) comparado ao preço do MWh no setor residencial



É IMPORTANTE NOTAR QUE O PREÇO DO MWH RESIDENCIAL (LINHA AZUL) CHEGOU A SER QUARENTA VEZES MAIS CARO DO QUE O PLD.

Figura 16 | Comparação entre o mercado de curto prazo brasileiro (PLD, em azul) e o Nordpool (vermelho). Valores em R\$/MWh



configuração do sistema e da geografia singular, o caso brasileiro tende a gerar preços irrisórios. Podemos ver isto na Figura 16, que mostra no mesmo gráfico a comparação dos preços no Brasil e no mercado Nordpool (Suécia, Noruega, Dinamarca e Finlândia), que também negocia energia hidrelétrica.

Essa situação pode ser fruto de uma sobra estrutural ou de hidrologias muito favoráveis. Ao ser apropriada exclusivamente no mercado livre, ela produz comportamentos especulativos. Um mercado sem transparência se apropria das sobras e das hidrologias exuberantes. Os “contratos” mensais comercializados no ambiente de contratação livre ultrapassam, em alguns anos, 25% do total da energia. Ocorre um perigoso incentivo à não-contratação de longo prazo, o que traz consequências desastrosas para o equilíbrio do sistema.

O outro aspecto de grande importância, decorrente da adoção do modelo, foi a fragmentação de responsabilidades. Hoje temos as seguintes instituições que cuidam do mesmo problema:

1. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada para regular o setor elétrico brasileiro (Lei nº 9.427/1996 e Decreto nº 2.335/1997).
2. Operador Nacional do Sistema (ONS), órgão responsável pela coordenação e controle da geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país. Atua sob fiscalização e regulação da ANEEL. Instituído como pessoa jurídica de direito privado, sob a forma de associação civil sem fins

A maneira como foram emitidos os “certificados de garantia física” tem gerado uma avaliação irrealista da capacidade total do sistema.

O risco é maior do que o admitido nos planos.

Isso impõe sobrecustos de bilhões de reais aos consumidores.



lucrativos, o ONS foi criado em 26 de agosto de 1998, pela Lei nº 9.648, com as alterações introduzidas pela Lei nº 10.848/2004 e regulamentado pelo Decreto nº 5.081/2004.

3. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), responsável pela contabilização e liquidação financeira no mercado de curto prazo de energia. A instituição realiza o cálculo e a divulgação do preço de liquidação das diferenças (PLD), usado nas operações de compra e venda de energia.
4. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que presta serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas para subsidiar o planejamento do setor, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, além dos biocombustíveis.

Além de representarem um custo extra, tem sido comum encontrar critérios conflitantes entre esses órgãos.

A energia necessária

Analisando os dados dos últimos anos, que aparecem na Figura 17, é possível extrair informações relevantes. Em cada ano, o país necessita de aproximadamente 2.200 MW médios para manter o equilíbrio. Isso significa, aproximadamente, uma usina como Xingó, no rio São Francisco, ou duas usinas como Itumbiara, no rio Paranaíba, ou quatro usinas como a Termo Pernambuco. Por outro lado, o consumo médio residencial brasileiro é baixo. Está na faixa de 150 kWh/mês. Muitas residências de famílias de baixa renda consomem menos de 100 kWh/mês, equivalentes a uma geladeira, algumas lâmpadas e um ventilador. A necessidade de energia aumentará se o nível de renda do povo

brasileiro aumentar. Hoje, não temos segurança de que um aumento da demanda – seja pela retomada do crescimento econômico, seja pelo aumento da renda das famílias – venha a ser adequadamente coberto.

O singular e excêntrico modelo brasileiro que surgiu na década de 2000 possibilitou estranhos comportamentos. As usinas geram energia (ou não) independentemente de terem sido contratadas (ou não) no mercado, pois elas são despachadas pelo Operador Nacional a partir de uma visão de conjunto do sistema. O Operador desconhece contratos.

Em 2003, logo após o racionamento e com a demanda reduzida, as usinas da Eletrobras geraram energia sem contrato, sendo remuneradas por esses MWh pelo preço de liquidação de diferenças (PLD). Nesse período, o PLD variou de R\$ 4/MWh a R\$ 20/MWh. Ao contrário das outras empresas que perderam contratos, a Eletrobras foi proibida de atuar no mercado livre para atenuar o prejuízo. Foi usada para fomentar o ambiente de contratação livre. Os preços irrisórios praticados no mercado de curto prazo em 2003 têm origem na descontração das usinas existentes, a maioria da Eletrobras.

Esses preços de curto prazo, extremamente baixos, duraram até 2012. Isso induziu o mercado livre a um comportamento especulativo, meramente conjuntural. Esse ambiente, que já representa 30% do total, não contratou a construção de nenhuma nova usina de porte, exceto algumas eólicas.

A modelagem adotada lançou sobre as distribuidoras toda a responsabilidade de contratação de longo prazo e reservou parte da energia dos futuros projetos para ser negociada no mercado livre. Evidentemente, dado o viés especulativo desse mercado, muitos projetos não conseguiram contratos.

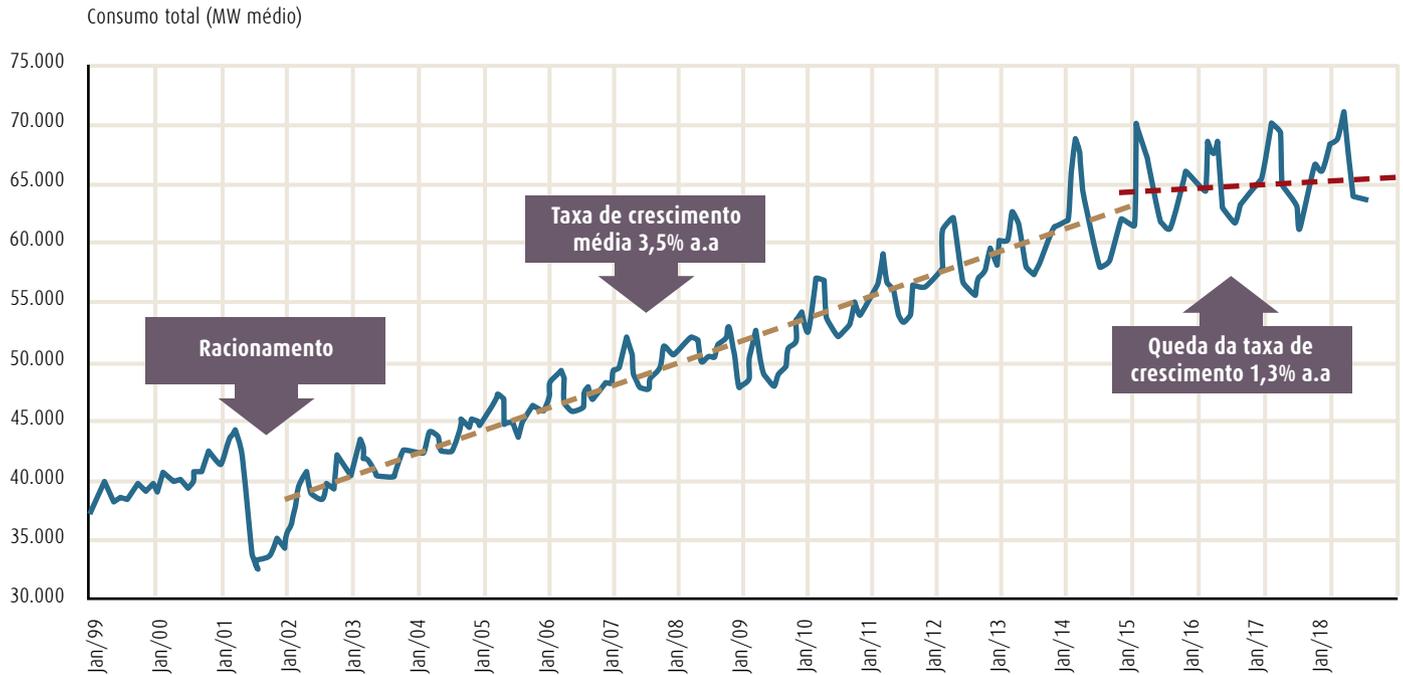
Por causa da recessão econômica, a carga total está estagnada desde 2014. Mesmo assim, há mais de quatro anos não se consegue encher os reservatórios.

O sistema está operando em desequilíbrio.

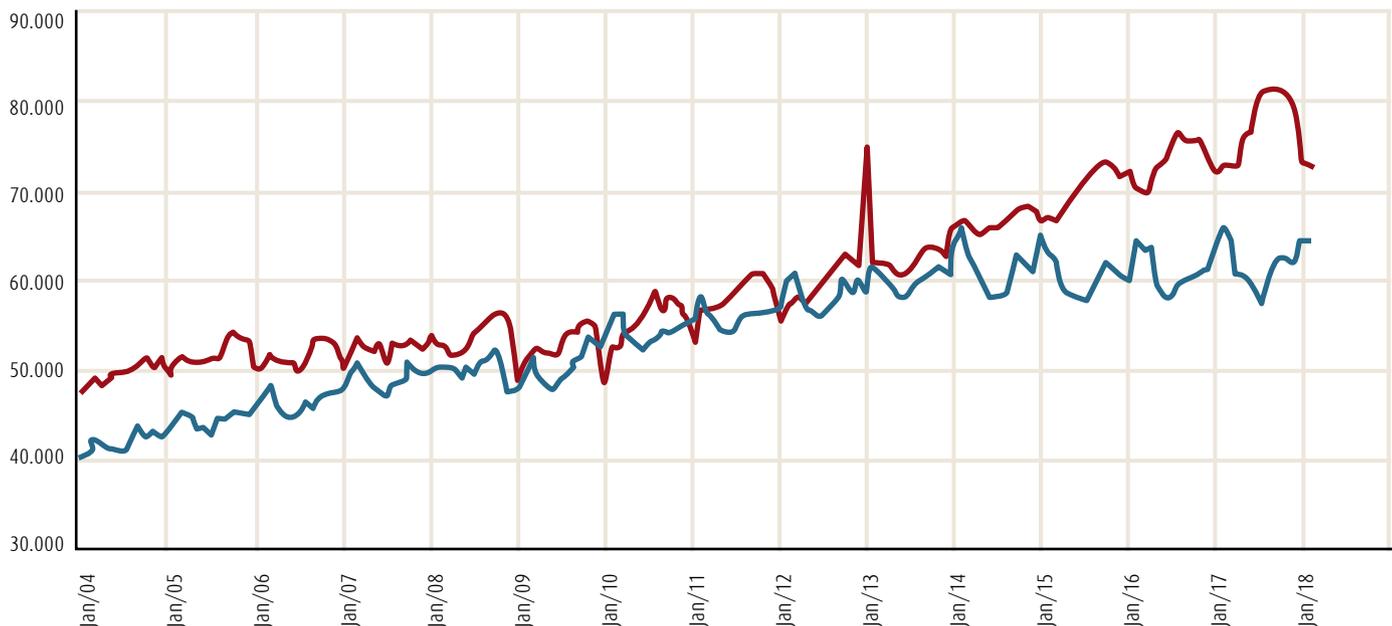
A contratação de térmicas caras exige que as hidrelétricas gerem mais energia.

A modelagem causou outros problemas. A Figura 18 mostra a garantia física de todas as fontes de geração e a demanda total de energia elétrica. É fácil notar um “tangenciamento” da carga total e da garantia total no período 2009–2013. Mas, como vimos, por defeitos do modelo, a garantia está superestimada, gerando riscos de desabastecimento, que não ocorreu por três fatores:

1. A hidrologia dos anos 2009 e 2011 foi excepcional (30% acima da média). No sistema brasileiro, desequilíbrios estruturais de oferta e demanda podem ser mascarados por hidrologias exuberantes.
2. Ao perceber que o mercado livre não garantia a expansão necessária, o governo usou novamente a Eletrobras,

Figura 17 | Evolução do consumo e da carga de energia elétrica do sistema interligado

PODE-SE VERIFICAR QUE: (A) O RACIONAMENTO DE 2001 PROVOCOU UMA REDUÇÃO DE 25% NO CONSUMO DE ELETRICIDADE; DEPOIS DELE, A EVOLUÇÃO DO CONSUMO PERMANECEU 15% ABAIXO DA TENDÊNCIA ANTERIOR; (B) COM A RETOMADA DA NORMALIDADE, OBSERVA-SE UMA TAXA MÉDIA DE CRESCIMENTO DE 3,5% AO ANO; (C) DE 2014 ATÉ HOJE, O CRESCIMENTO DA DEMANDA SE REDUZIU DRÁSTICAMENTE POR CAUSA DA FORTE RECESSÃO ECONÔMICA.

Figura 18 | Evolução da carga (curva azul) e da garantia física (curva vermelha) total do sistema



CREATIVE COMMONS / LEGACY600

forçando parcerias em que ela entrava como minoritária para viabilizar projetos que exigiram aportes de aproximadamente R\$ 3 bilhões/ano.

3. Foi adotada uma solução provisória por meio de leilões de energia de reserva que, custeadas por encargos, compensariam a superestimação da garantia das usinas existentes.

Houve uma transferência implícita de custos, pois muitos desses projetos proporcionaram lucros para o sócio privado e prejuízos para a estatal (a Eletrobras passou a ter um alto nível de endividamento, agravado por sua exposição no mercado livre, sem poder usufruir de novos contratos; mesmo com taxas de

retorno positivas, os projetos não atingiam o custo de capital da estatal).

Em 2012, o cenário do setor era inexplicável: tarifas explosivas, início de inadimplências no mercado livre, encargo de energia de reserva de R\$ 150 bilhões (acumulados desde sua implantação em 2008), atrasos em obras, falta de sincronismo entre obras de transmissão e geração, aumentos significativos nos custos de transmissão e instabilidade regulatória.

O aumento contínuo de preços incomodava a indústria. Em 2011, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) lançou uma campanha que apontava os preços praticados pela Eletrobras como os responsáveis pela

alta tarifária. Como a maioria das usinas era antiga, o argumento era de que o consumidor já havia pago por esses empreendimentos, que estavam amortizados. A tese da amortização era verdadeira, mas, ao ser destacada isoladamente, desviou a atenção de todos os outros motivos da escalada de preços. Uma série de equívocos estava presente na campanha:

1. Os preços praticados pela Eletrobras não foram definidos pela estatal. Resultaram de leilão da energia de usinas existentes, realizado em 2004. Esses valores estavam num nível de aproximadamente R\$ 90/MWh.
2. Portanto, com o modelo de merca-

- do, o conceito de “tarifa”, que contabiliza o nível de amortização de investimentos, foi abandonado pelo conceito de “preço”.
- O conceito de preço, obtido em leilões e que permanece sendo corrigido apenas por índices inflacionários, foi uma escolha do governo e era bem conhecido pelos agentes privados.
 - Os preços de leilão de usinas que estavam em construção (Santo Antônio, Jirau, Teles Pires) foram usados para fazer comparações (um equívoco que logo mostrou sua dimensão; essas usinas estão apresentando déficits monumentais com os preços definidos, pois as suposições sobre término das obras e comercialização no mercado livre foram frustradas).
 - Na realidade, a amortização nada tem a ver com o período de concessão. É um cálculo puramente contábil, aplicado em diversos países. Foi usado no Brasil como “serviço pelo custo” e é usado na maioria dos estados americanos como

“return rate regulation” (teoricamente, é possível que uma usina amortize seu investimento antes do término do período de concessão).

- Na verdade, era esse sistema que justificava a baixa tarifa de 1995. Ou seja, mesmo naquela época o consumidor já se beneficiava desse efeito.

Surpreendentemente, o governo aceitou a tese da Fiesp e resolveu antecipar o fim do período de concessão, que terminaria em 2015. Em vez de usar os dados contabilizados nos relatórios da Eletrobras, preferiu rejeitar os dados da Agência Reguladora e dos auditores oficiais, implantando um modelo matemático que impunha os custos de operação e manutenção às usinas. Desse modo, as usinas deixavam de ser “ativos” da empresa. Esta passava a ser apenas uma administradora de operação da usina.

Houve uma redução de quase 90% nos valores praticados nos leilões. A metodologia, repleta de inconsistências, desprezava as informações da própria empresa e estabelecia um preço a partir

de um banco de dados formado por usinas muito distintas das usinas-alvo.

A Figura 19 especifica as tarifas impostas pela medida provisória 579, transformada na lei 12.783/2013, para cada usina da Eletrobras:

A tarifa média, obtida pela ponderação com a garantia física de cada usina, passou a ser R\$ 7,67 MWh, o que, na data da emissão da nota técnica, equivalia a US\$ 3,20 MWh, um recorde mundial de preço baixo.

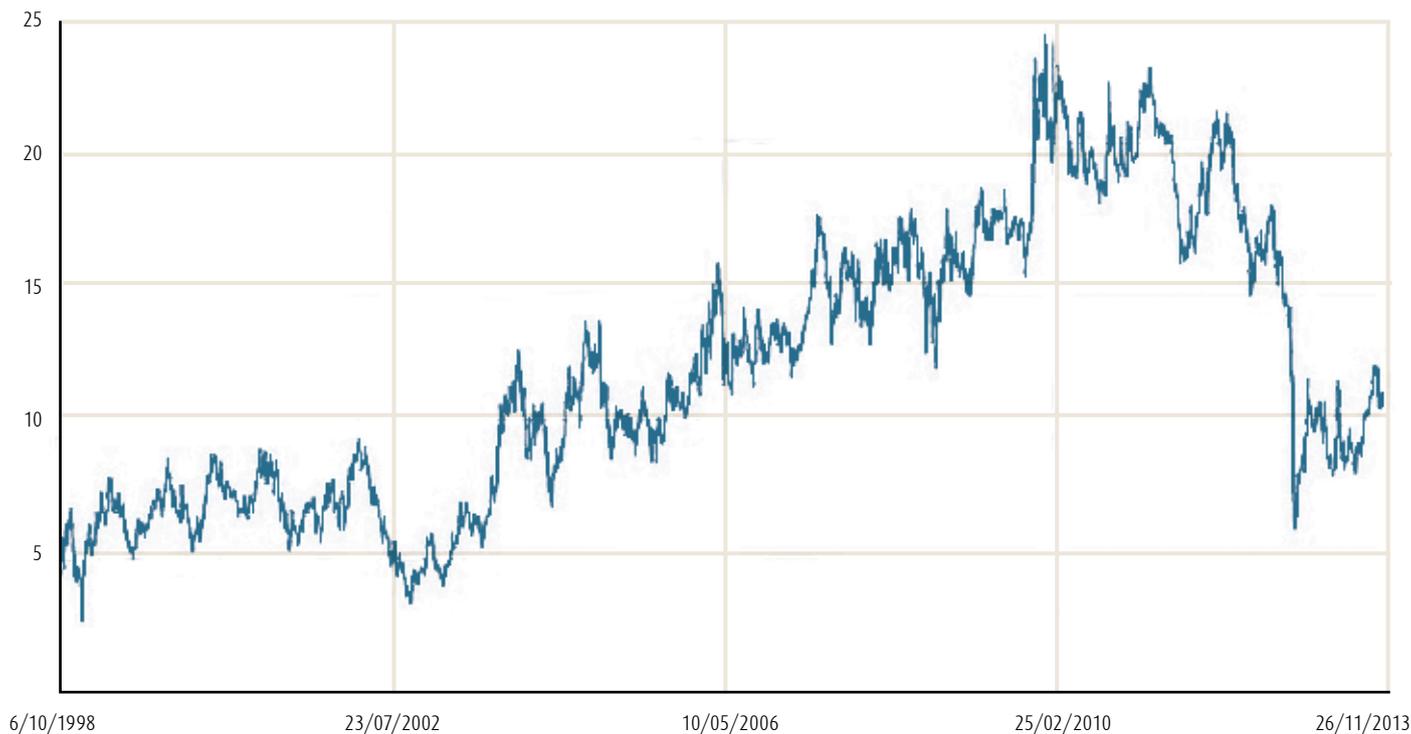
As consequências foram graves:

- Essa opção do governo, além de fragilizar a Eletrobras, ignorou todos os outros fatores de encarecimento, como surgimento de diversos encargos, aumento do custo de transmissão, energia de reserva e apropriação de renda pelo viés de preço baixo no mercado livre.
- Ao isolar as usinas e as empresas, a administração central ficou sem o suporte da renda desses ativos. Era evidente que os prejuízos contábeis seriam significativos. O exemplo mais

Figura 19 | Tarifas impostas pela medida provisória 579, transformada na lei 12783/2013, para cada usina da Eletrobras

Usinas	Potência (MW)	Tarifa imposta R\$/kW. Ano	Garantia Física (MW médios)	Tarifa final R\$/MWh
Funil	216	66,59	121	13,57
Boa Esperança	237	66,74	143	12,63
P Colômbia	319	60,94	185	12
Corumbá I	375	57,59	209	11,8
Estreito	1048	41,58	495	10,05
Furnas	1216	40,6	598	9,42
Marimbondo	1440	39,22	726	8,88
Itaparica	1479	42,67	959	7,51
Xingó	3162	35,61	2139	6,01
P Afonso	4279	29,92	2225	6,57
Total	13771		Média	7,67

Figura 20 | Cotação de ELB na bolsa (-70%)



chocante desse desacoplamento é o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (Cepel), da Eletrobras, que era mantido pela receita de ativos de geração e transmissão.

3. Ainda pior foi o aniquilamento da tradicional capacidade de autofinanciamento do setor elétrico. Na concepção aplicada, uma usina antiga, gerida apenas pelos custos de operação e manutenção, não gera nenhum centavo para a construção de novas usinas.

As figuras 20, 21 e 22 mostram a brutal e repentina queda de valor da Eletrobras.

Mesmo com cerca de 14.000MW de usinas hidrelétricas (cerca de 16% do total) cobrando apenas custos básicos (aproximadamente R\$ 35,00 MWh, incluindo encargos e impos-

tos), a tarifa não parou de crescer, por diversos motivos.

Para cobrir despesas da geração térmica, que inclui usinas a óleo combustível e diesel contratadas em 2008, foi criada uma “bandeira tarifária”. Segundo a Aneel, trata-se de um “sinalizador”, que pode chegar a adicionar R\$ 50/MWh ao preço vigente.

Num país onde a eletricidade, em sua maior parte, vem dos rios, a maneira mais fácil de justificar uma crise é culpar a falta de chuva. A Figura 23 mostra quais foram os vinte piores anos do histórico de afluências para cada região do sistema.

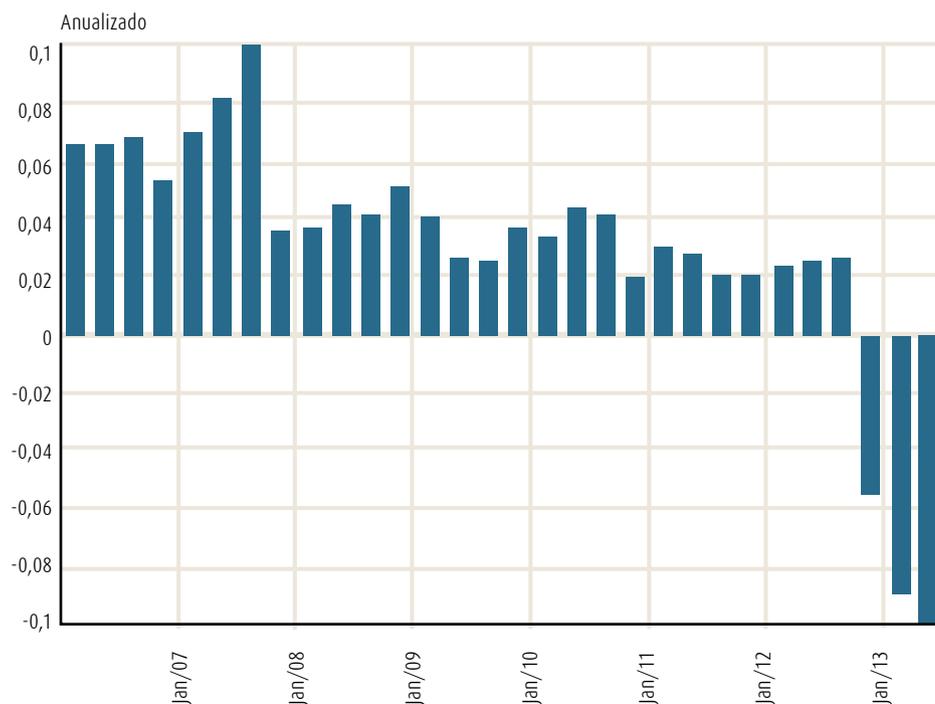
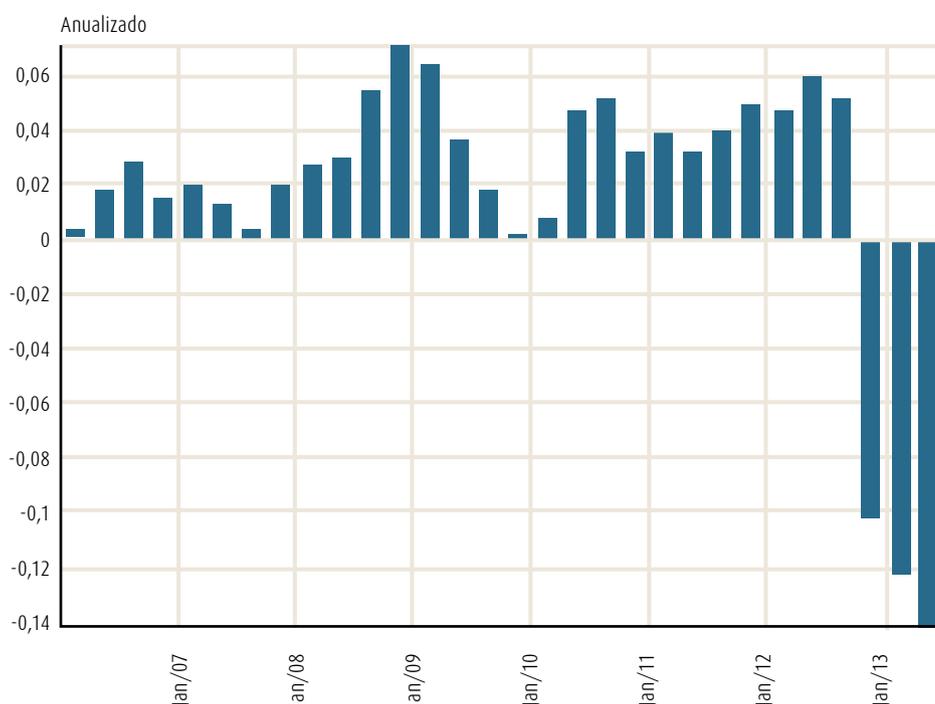
Somente no Nordeste as energias naturais foram as piores do histórico. Pelo critério vigente, só esta região está em risco. No Sudeste, que recebe de rios a maior parte da energia que con-

some, as baixas afluências concentram-se na década de 1950, conhecida como período crítico.

As dificuldades têm aumentado. A situação do parque hidráulico está gerando uma grande celeuma jurídica, originada pela individualização da energia garantida do sistema por usina.

Eis a sequência dos problemas:

1. As garantias físicas das usinas foram determinadas em datas diferentes e com uma metodologia que, além de conter parâmetros subjetivos, foi alterada diversas vezes.
2. As empresas não participaram na determinação desse valor.
3. As usinas leiloadas foram avaliadas exatamente por essa grandeza.
4. A geração das usinas é determinada pelo Operador Nacional do Sistema

Figura 21 | Retorno sobre capital investido (-13%)**Figura 22 | Retorno sobre el Patrimonio Líquido (-30%)**

(ONS), que, como vimos, opera sob uma óptica global e monopolista, sem reconhecer contratos.

5. Por ordem do ONS, a geração no período 2012–2018 se reduziu drasticamente.
6. Para cumprir seus contratos, as usinas hidráulicas enfrentaram um enorme déficit de energia gerada. Pela modelagem vigente, elas são obrigadas a adquirir o déficit de energia no mercado, pagando o preço da energia térmica, muito mais cara. Esse dilema, chamado Generating Scaling Factor (GSF), já acumula inadimplências que atingem mais de R\$ 9 bilhões.
7. As usinas atingidas pela lei 12.783/2013, que reduziu as tarifas, transferem esse déficit para as distribuidoras, o que agrava ainda mais a situação tarifária do país.
8. Mesmo com tantos problemas, o setor privado não pode reclamar de baixos retornos nesse setor tão essencial. Dados financeiros mostram que, até 2014, o setor elétrico esteve em segundo lugar no *ranking* de dividendos pagos aos acionistas, sendo superado apenas pelo setor dos bancos. Essa posição se reduziu para a terceira colocação após 2014.

A situação atual da reserva energética aparece na Figura 24. Como se percebe, há mais de quatro anos não se consegue encher os reservatórios, mais uma evidência de que o sistema está em desequilíbrio, pois a carga total está praticamente estagnada desde 2014.

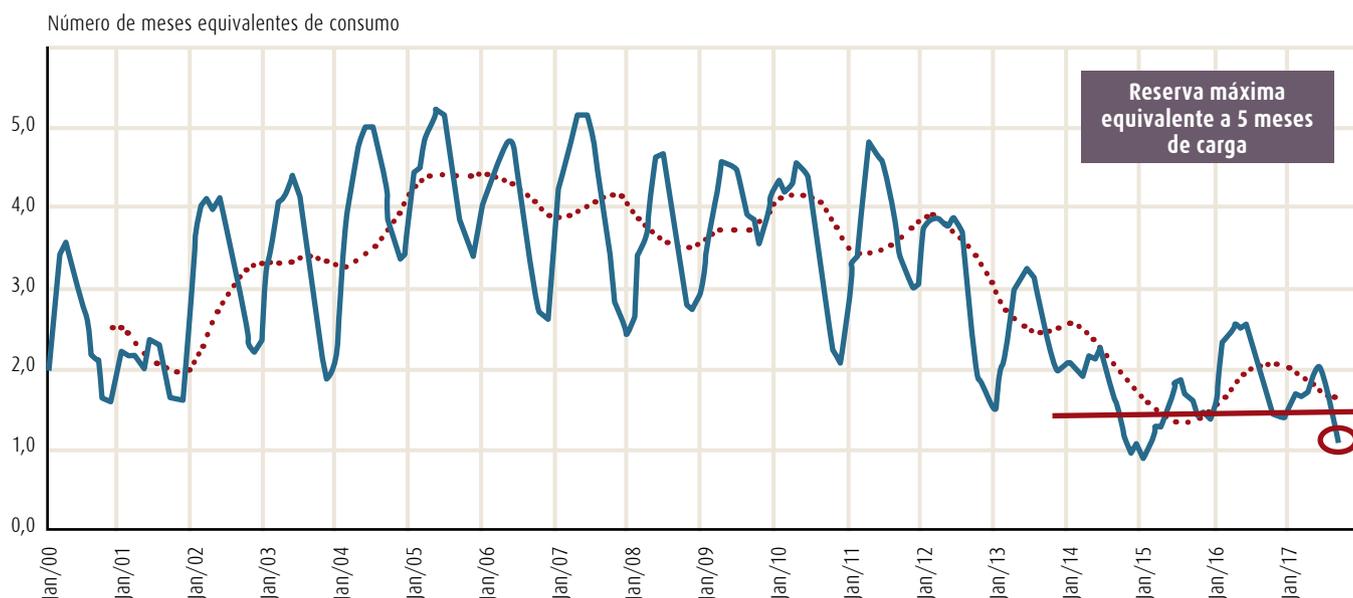
Como vimos, a contratação de térmicas caras (óleo e diesel) exigiu mais geração das hidrelétricas. Essa é uma das causas do esvaziamento dos reservatórios.

Figura 23 | Afluências por região em anos selecionados

ORDEM	SUDESTE		NORTE		SUL		NORDESTE	
	ANO	ENAT	ANO	ENAT	ANO	ENAT	ANO	ENAT
1	1971	27.342	2016	3.960	1945	3.206	2017	2.424
2	1955	27.382	1953	5.165	1944	3.413	2015	3.295
3	1953	28.310	1998	5.259	1968	3.696	2016	3.517
4	1954	28.690	2017	5.423	1933	4.024	2014	3.843
5	1969	29.303	1951	5.510	2006	4.402	2001	4.004
6	1934	30.443	1971	5.593	1949	4.729	2010	5.005
7	1936	31.802	1962	5.642	1978	4.828	1976	5.223
8	1963	32.178	1955	5.721	1962	5.498	2013	5.244
9	1944	32.189	2015	5.891	1934	5.750	1971	5.278
10	2014	32.551	1987	5.896	1991	5.821	1996	5.423
11	1964	32.833	1972	5.904	1985	5.850	1998	5.506
12	1968	33.085	1952	5.933	1943	6.058	1955	5.530
13	2017	33.090	1950	6.130	1952	6.077	2003	5.569
14	1939	33.193	1963	6.221	1964	6.383	1995	5.977
15	1956	33.675	1954	6.250	1951	6.423	2012	6.012
16	2001	33.769	1999	6.336	1959	6.452	1999	6.052
17	1938	34.201	1976	6.445	1981	6.603	1959	6.066
18	1941	35.709	1993	6.644	1940	6.764	1987	6.149
19	1975	35.721	1932	6.659	1937	6.813	2002	6.174
20	1970	36.285	1984	6.669	1974	6.863	1953	6.206

AS AFLUÊNCIAS ESTÃO TRANSFORMADAS EM ENERGIA (MW MÉDIOS), SUPONDO QUE SERÃO TURBINADAS (ESSA TRANSFORMAÇÃO DE UNIDADES, APESAR DE PODER SOFRER ALTERAÇÕES NO MUNDO REAL, É MAIS ÚTIL PARA COMPARAR AS ENERGIAS). OS ANOS QUE FAZEM PARTE DO PERÍODO CONSIDERADO COMO "CRISE" (2012-2017) ESTÃO EM VERMELHO. ENAT = Energia Natural

Figura 24 | Situação da armazenagem total em número de meses de consumo



Fonte: ONS

Conclusões

Quando um sistema de geração depende da natureza em países tropicais, as energias primárias (afluências de rios, vento e Sol) variam bastante. Num país de dimensões continentais, essas variações, além de significativas, não coincidem. Assim, querer atribuir um valor fixo por usina para mimetizar a formação de preços num sistema térmico (que depende apenas de combustível) não tem sustentação teórica.

Até a suposta vantagem da competição fica reduzida, pois as usinas vendem energias que elas mesmas não geram. Portanto, a eficiência fica em segundo plano.

Hoje, há cerca de R\$ 90 bilhões de custos advindos da modelagem e que ainda não foram cobrados do consumidor. Costuma-se apelidá-los de “esqueletos”. Eles assombrarão as contas de luz por muito tempo.

As origens disso são diversas: déficit hídrico das hidráulicas, indenizações ainda não quitadas e que surgiram por causa da intervenção do governo Dilma, déficits das bandeiras tarifárias que não conseguem cobrir o custo térmico, subsídios para a tarifa social, subsídios para as térmicas do sistema isolado e dívidas assumidas pela Eletrobras relativas às distribuidoras rejeitadas na privatização da década de 1990.

As propostas que estão sendo discutidas prometem mais mercado e menos coordenação, o contrário da lógica que foi exposta neste texto (ver “Esboço de uma alternativa”). Isso exigirá mais excentricidades e complexidades, sem trazer redução de tarifas, estabilidade regulatória, capacidade de financiamento e segurança energética.

Com a Eletrobras praticamente quebrada, corremos o risco de repetir a experiência de 2001, quando o capital se concentrou em adquirir ativos prontos, abandonando a expansão.

Dadas a geografia e a natureza brasileiras, ambas tão favoráveis, algo muito erra-

ESBOÇO DE UMA ALTERNATIVA

A potência das usinas são valores fixos que estão registrados nos manuais das turbinas e dos geradores. Não dependem de critérios burocráticos externos.

Estabelecendo-se que a receita das usinas passa a ser proporcional à potência, elas teriam receitas constantes e garantidas, o que incentivaria o investidor a introduzir melhoras permanentemente. O investidor em hidráulicas não assumiria o risco hidrológico bilionário que está ocorrendo hoje

As térmicas seriam remuneradas pela potência mais o custo do combustível em caso de despacho, podendo-se considerar casos em que aparecessem inflexibilidades.

Como parte significativa das fontes estaria contratada por potência, a receita seria a mesma, independentemente da hidrologia. Portanto, sob hidrologias exuberantes, a receita extra decorrente da maior geração a menor custo pertenceria a todos os consumidores. Um fundo compensador de situações hidrológicas adversas seria possível. Nesse sistema não ocorreria a situação de saldos que não compensam déficits, como mostramos na figura 12.

O mercado de energia poderia existir, desde que fosse realmente fruto da interação de ofertantes e demandantes. Não existiria a liquidação de diferenças de geração ao preço do custo marginal de operação (CMO). Mudanças nos critérios de operação não afetariam o mundo comercial, pois seriam alterações de metodologia interna do comprador majoritário. As “garantias físicas” das usinas poderiam existir, mas seriam parâmetros orientadores da política de contratação e poderiam ser alteradas sem problemas.

Esta proposta foi apresentada ao governo Lula, mas esbarrou em uma dificuldade política: ela exige a definição de um ente que contrataria os MW necessários para que o sistema conseguisse garantir os MWh do consumo. Segundo o governo, o “mercado” entenderia isso como “estatização”. Esse preconceito não tem sentido. Pois, ao fazer o plano de expansão, o governo, através das suas diversas instituições, faz exatamente o que esse contratante faria. Na realidade, o modelo já existe na transmissão, de modo que esse papel poderia ser exercido por uma das entidades já existentes.

Propunha-se também a junção das instituições de planejamento e operação, pois o processo de planejamento depende de simulações operativas. Com isso, evitaríamos a atual discrepância de critérios entre a EPE e o ONS.

Na verdade, o Brasil já tinha a situação que começa a surgir nos países de base térmica que enfrentam a entrada de fontes eólica e solar que não são despachadas e absorvem o mercado das térmicas despacháveis. Por causa da volatilidade da demanda e dos preços, esses mercados têm dado preferência a contratos de potência, em vez de competir por energia.

do foi aplicado aqui. A complexidade, além de ser geradora de custos, é uma poderosa ferramenta de desinformação, um dos grandes males do Brasil atual.

Lamentavelmente, a individualização, conceito crescentemente implantado em várias atividades econômicas

sob a abordagem de um liberalismo radical, conflita com a singularidade geográfica e climática brasileira. O grande avanço tecnológico que o Brasil acumulou em décadas anteriores, com a formação do sistema interligado, está sendo perdido. ■

CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Políticas brasileiras no século XXI



Não devemos mimetizar as políticas dos países desenvolvidos. A agenda brasileira precisa manter a dimensão social no centro de suas preocupações, incentivando a pesquisa tecnológica voltada a problemas locais e à provisão de bens e serviços essenciais, como alimentação, saúde, educação, habitação, tratamento de resíduos sólidos, acesso a água potável e energia, entre outros serviços, inclusive a cultura. Para isso, as políticas de ciência e tecnologia devem levar em conta a dimensão territorial. Em vez de produzir bens intensivos em recursos naturais não renováveis, devemos valorizar o novo paradigma da sustentabilidade. Tudo isso deve fazer parte de um novo projeto nacional de desenvolvimento que destaque as especificidades do nosso país.

Introdução

A indústria brasileira perdeu densidade e dinamismo nas últimas décadas. Alguns autores associam isso aos esperados efeitos das políticas de austeridade, à apreciação cambial, às altas taxas de juros e demais elementos de políticas macroeconômicas restritivas, bem como ao aumento dos preços das *commodities*, resultante do chamado “efeito China”.

Argumentamos neste artigo que tais fatores tornaram ainda mais agudos alguns fenômenos que já eram evidentes nas décadas de 1980 e 1990. Após haver internalizado os benefícios da Segunda Revolução Industrial, a indústria brasileira deveria se defrontar com uma reestruturação que incorporasse a revolução sociotécnica em curso. O aprofundamento da financeirização, a reorganização das atividades produtivas e das grandes empresas transnacionais, assim como a crise mundial iniciada em 2007–2008 agravaram a situação e adicionaram novos desafios. O destaque positivo ficou por conta do conjunto de políticas adotadas pelo Brasil para enfrentar os estágios iniciais da crise, principalmente com a atuação dos cinco bancos oficiais, que garantiram o investimento produtivo e a sobrevivência das principais empresas. Também houve mudanças na geopolítica introduzidas pela formação de alianças, como a dos BRICS. Tais características não podem ser ignoradas quando se discutem os atuais desafios do desenvolvimento produtivo e tecnológico no Brasil.

Evidentemente, para que se efetive a promessa de se tornarem o “motor do desenvolvimento” (Freeman 1982), ciência, tecnologia e inovação (CT&I) precisam ser usadas pelo setor produtivo. Este artigo retoma a discussão sobre a política de CT&I brasileira a partir dessas considerações. O texto está organizado da seguinte maneira: o item 2 faz uma breve análise e avaliação da política brasileira; o item 3 apresenta uma síntese das principais transformações da



José E. Cassiolato

Professor-doutor do Instituto de Economia da UFRJ. Coordenador da Rede de Pesquisa em Sistemas e Arranjos Produtivos e Inovativos (RedeSist). Secretário-geral da Rede Globelics e presidente do Conselho do Centro de Altos Estudos Brasil Século XXI.



Helena M. M. Lastres

Professora-doutora do Instituto de Economia da UFRJ. Coordenadora da RedeSist.

estrutura produtiva e inovativa brasileira, mostrando como, apesar das políticas implementadas, confirmaram-se os problemas percebidos desde a transição do milênio; o item 4 discute as implicações de política a partir de uma visão contextualizada e sistêmica de inovação. Finalmente chegamos à conclusão, com sugestões.

Breve histórico da política brasileira de ciência, tecnologia e inovação

A exploração portuguesa no Brasil, entre os séculos XV e XVIII, impediu que se estabelecesse na então colônia qualquer atividade produtiva que competisse com as que podiam ser realizadas em Portugal (ou em seus parceiros comerciais), assim como de qualquer atividade acadêmica ou de pesquisa. Diferentemente do que aconteceu na América espanhola – onde surgiu uma universidade em São Domingos, em 1538, logo após a conquista –, os primeiros cursos de nível superior (direito e medicina) só foram instalados no Brasil em 1808, quando a sede do reino português foi transferida para cá. A primeira universidade brasileira – a atual Universidade Federal do Rio de Janeiro – só surgiu no século XX. Ao longo da segunda metade do século XIX, na medida em que a monarquia e a escravidão desmoronavam, criaram-se os primeiros cursos de graduação em engenharia (a Escola Politécnica do Rio de Janeiro em 1874) e centros de pesquisa em ciências naturais (Museu Emílio Goeldi, no Pará, em 1885), agropecuária (Instituto Agrônomo

de Campinas em 1887) e saúde e higiene (Instituto Bacteriológico de São Paulo em 1893, Instituto Butantã em 1899 e Instituto Oswaldo Cruz em 1908).¹

A criação desses centros de treinamento e pesquisa técnica pretendia atender às necessidades das principais atividades exportadoras do Brasil no período: café e açúcar. Por exemplo, o Instituto Oswaldo Cruz, hoje uma das mais renomadas instituições de pesquisa em biologia no mundo, só foi criado depois que embarcações estrangeiras ameaçaram não atracar mais no porto do Rio de Janeiro por causa da febre amarela.

Uma institucionalização mais ampla do sistema científico e tecnológico – e de uma política dirigida a ele – só ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, acompanhando o processo de industrialização. As primeiras iniciativas de política científica e tecnológica explícita terminaram por instituir, em 1951, o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), com a missão de coordenar e promover a pesquisa científica no Brasil, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), com o objetivo de melhorar o ensino superior e garantir a existência de pessoal especializado para realizar a transformação econômica do país.

Nesse período, outras instituições de P&D foram criadas fora das áreas agrícola e biomédica: o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), 1949; o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), 1950; logo após, o Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA). Uma década depois foram estabelecidos

os centros de pesquisa nas empresas estatais: o Centro de Pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes), da Petrobras, 1963; o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), da Eletrobras, 1974; o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CPqD), da Telebras, 1976. Nesse período também foi criada a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 1973, além de centros de pesquisa tecnológica em diferentes estados da Federação, seguindo o modelo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, que havia sido criado em 1889.

Ainda na década de 1960 foi criado o Fundo Tecnológico (Fundtec) no então Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE, hoje BNDES) a fim de fornecer recursos financeiros para atualizar e fortalecer a infraestrutura científica e tecnológica brasileira. Isso devia ser alcançado com a criação de programas conjuntos de pesquisa e pós-graduação, principalmente (mas não exclusivamente) em universidades públicas e institutos de pesquisa. A outra mudança institucional importante foi a criação da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) em 1969, uma agência do Ministério do Planejamento. Quando iniciou suas atividades, a Finep realizava principalmente estudos de viabilidade. A partir de 1971, suas funções foram ampliadas, quando ela se tornou uma secretaria-executiva do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), criado em 1969.

A decisão de investir na formação de pesquisadores, tendo as

universidades públicas como principal base institucional, trouxe inúmeros avanços, com a consolidação de uma significativa infraestrutura de C&T. Ao longo da década de 1970 foram criados cerca de oitocentos novos cursos de mestrado e doutorado, que somavam mais de mil, abrangendo todas as áreas do conhecimento (Erber, 1980). O número de mestres formados em 1990 ultrapassava 5.500 e os doutores passavam de 1.400. Porém, apesar de todo o esforço de planejamento, obtiveram-se resultados muito limitados na promoção do desenvolvimento tecnológico (Cassiolato 2001).

Vários estudos que examinaram o comportamento tecnológico das empresas privadas brasileiras no período (Cassiolato, 1992) encontraram estratégias de inovação passivas, baixos níveis de atividades de P&D e fracos vínculos com institutos de pesquisa industrial e universidades. Os grandes conglomerados de propriedade local concentraram-se principalmente em indústrias de transformação de matéria-prima, produzindo *commodities* padronizadas, como papel e celulose, ferro e petroquímicos, que não exigiam esforços significativos de capacitação, P&D e engenharia para aumentar o valor adicionado doméstico e avançar na produção de bens e serviços mais complexos. Ao contrário, eles tenderam a permanecer nos estágios mais elementares de processamento das matérias-primas disponíveis localmente. Quanto às empresas estrangeiras, seus esforços tecnológicos geralmente se destinavam a adaptar produtos e tecnologias (de processo e organiza-

cionais) às condições locais e a monitorar oportunidades tecnológicas e recursos humanos qualificados.

As empresas públicas tiveram o papel mais ativo no desenvolvimento tecnológico. Elas criaram seus próprios departamentos de P&D e de engenharia para desenvolver tecnologias específicas pa-

As indústrias têm usado os recursos governamentais de C&T para comprar máquinas e equipamentos, com modernização tecnológica, mas sem compromisso com a inovação. Os resultados são frustrantes.

ra o ambiente e os recursos do país. Além dos já citados – Cenpes, Cepel e CPqD –, esse também foi o caso a Usiminas, na indústria de aço, e da Embraer, na aeronáutica (Cassiolato e Lastres, 2016).

Assim, nas décadas de 1970 e 1980, significativos centros públicos de P&D e de engenharia constituíram o núcleo central do sistema nacional de inovação brasileiro. No entanto, as crises do petróleo e da dívida externa afetaram a transformação produtiva em curso no Brasil, tendo impac-

to significativo nos investimentos governamentais de C&T.²

O governo democrático iniciado em 1985 criou o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), pôs a inovação na agenda de política e estabeleceu programas importantes de recursos humanos nas novas áreas de tecnologia da informação, biotecnologia e materiais avançados, além de recolocar o financiamento público à pesquisa nos níveis de 1970. No entanto, o aprofundamento da crise inflacionária, na década de 1980, trouxe considerável instabilidade institucional.

Ao longo da década de 1990, o aprofundamento da crise e a adoção de políticas neoliberais relegaram a política de C&T a um plano inferior. A política industrial neoliberal – baseada em liberalização, desregulamentação e privatização – trouxe implicitamente a ideia de que inovação e capacitação tecnológica deveriam ser deixadas para as “forças de mercado”. Como resumido por Coutinho e Belluzzo (1996, p. 129), “a hegemonia do pensamento neoliberal instituiu um novo paradigma, em que o predomínio das relações de mercado (com privatização e desregulamentação) minimizaria incisivamente o papel que deveria ser desempenhado pelo Estado. Sob a égide da globalização [...] a política de desenvolvimento se reduziria à criação de condições propícias para atrair investidores, lubrificando-se ao máximo a liberdade privada de acumulação.”

A C&T retornou à agenda de prioridades governamentais no final da década de 1990, mas per-

maneceu subordinada ao neoliberalismo. Duas iniciativas tiveram destaque: a constituição de dezesseis fundos setoriais e o início de um amplo processo de mobilização dos estados para a construção de políticas subnacionais de C&T, que em muito contribuíram para ampliar o financiamento do sistema. Contudo, o Brasil vivia sua “segunda década perdida”, com acirramento dos regimes “macroeconômicos malignos”, “especialização regressiva” e perda de densidade produtiva.³ Além disso, as orientações e instrumentos basearam-se principalmente na mimetização tanto de instrumentos tradicionais, alguns já adotados há décadas, quanto das novas leis de inovação que marcaram o cenário da década de 1990 nos países mais desenvolvidos. Estes, com raras exceções, objetivaram criar e azeitar as conexões entre o setor industrial e as universidades por meio de projetos conjuntos de P&D, os quais já eram implementados no Brasil desde a década de 1970, mas sem muito êxito.⁴

O governo iniciado em 2003 reintroduziu na agenda governamental a política direcionada à produção. O ponto central previa implementar estímulos e promover a inovação nas empresas. Foram dois os compromissos básicos assumidos com a área de CT&I. O primeiro foi o de ampliar significativamente os investimentos públicos para (i) expandir e consolidar o sistema nacional de C&T, tendo em vista melhorar sua distribuição regional; (ii) priorizar P&D em áreas estratégicas; e (iii) articular melhor os objetivos do desenvolvimento científico e tec-

nológico e do desenvolvimento social (inclusive apoiando a consolidação e ampliação de sistemas locais de produção e inovação). O segundo compromisso foi o de articular a estratégia nacional de CT&I com as demais políticas federais, em especial a política industrial.

A política de C&T avançou significativamente em dois pontos: (i) terminou com a instabilidade, observada nos cinquenta anos anteriores, na alocação de recursos públicos; (ii) a partir de tal estabilização, proporcionou um aumento significativo no aporte de recursos públicos federais para a infraestrutura de C&T. Observou-se também uma crescente, porém modesta, desconcentração espacial das atividades de C&T.

Deve-se mencionar, ainda, a ênfase dada a partir de 2003 ao aumento da capacitação científico-tecnológica através de significativo investimento na criação de novas universidades públicas e instituições federais de educação profissional e tecnológica, além do reerguimento das já existentes. A partir de 2003 foram criadas dezoito novas universidades públicas em regiões até então não contempladas, além de mais de 280 institutos federais de educação, ciência e tecnologia, com cursos técnicos, em sua maioria de forma integrada com ensino médio, licenciaturas e graduações tecnológicas, especializações, mestrados profissionais e doutorados. Esses tinham em vista, principalmente, mobilizar pesquisas tecnológicas articuladas às especificidades e às vocações do desenvolvimento local e regional.

A política brasileira de apoio à infraestrutura de C&T apresentou estes e outros modestos resultados positivos, mas a política de inovação continuou subordinada aos cânones da “convenção institucionalista de corte neoliberal” (Erber, 2011). Na Lei de Inovação ela seguiu, sem grandes alterações, as propostas defendidas por organizações internacionais, como a OCDE e o Banco Mundial. Baseou-se em dois mecanismos que pretendiam (a) estimular a interação de universidades e empresas (incubadoras, cidades inovadoras, núcleos de inovação tecnológica, redes de inovação, plataformas tecnológicas, entre outras) e (b) diminuir os custos da inovação. Grande parte foi realizada por meio de incentivos fiscais e creditícios voltados às atividades inovativas, alocados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, o BNDES e a Finep.⁵

Como foi detalhadamente analisado em outros trabalhos (Cassiolato e Lastres, 2016), o impacto dessa política tem sido muito modesto. A principal crítica a esses mecanismos é que eles, por serem genéricos, servem principalmente para reduzir custos de P&D em atividades já realizadas pelas empresas. Mais ainda, apenas empresas que declaram lucro líquido podem se beneficiar da maioria dos incentivos. As micro, pequenas e médias empresas não têm acesso a eles. Assim, o tipo de política praticada é, por definição, muito limitada para encorajar novos investimentos voltados à inovação. Além disso, destinam-se a um número reduzido de agentes, atividades e regiões.⁶

Vivemos um processo de especialização regressiva, com fortalecimento de atividades econômicas menos intensivas em ciência e tecnologia e menos capazes de agregar valor à produção.

A grande maioria do apoio efetivamente usado pelo setor industrial se dirigiu à compra de máquinas e equipamentos, o que indica mais propriamente uma modernização tecnológica do que um comprometimento com a inovação. Assim, não surpreende que os dados da Pesquisa de Inovação Tecnológica (Pintec) do IBGE mostrem que, ao longo de quase duas décadas de políticas ativas, os dispêndios em atividades inovativas por parte das empresas tenham caído em termos relativos, passando de 3,89% da receita líquida de

vendas no período 1998-2000, para 2,80% entre 2004 e 2006, 2,60% entre 2006 e 2008, 2,37% entre 2009 e 2011, e 2,12% entre 2012 a 2014. Adicionalmente, cabe notar que as subsidiárias de empresas transnacionais são as que mais têm se beneficiado dos incentivos fiscais e dos financiamentos à inovação, com resultados próximos de nulos. Apesar dos benefícios recebidos, essas empresas, em sua grande maioria, têm diminuído os esforços de P&D e de inovação no país. Ainda mais grave do que o reduzido comprometimento com



o avanço tecnológico brasileiro por parte dessas empresas é que isto foi acompanhado por significativo aumento das remessas de lucros e dividendos às suas matrizes, em especial após a crise de 2007. A partir de então, houve grande incremento nessas remessas, que saltaram da média anual de US\$ 5 bilhões no período 1990-2005 para surpreendentes US\$ 25 bilhões por ano a partir de 2007 (valores de 2009).⁷

Em suma, as políticas de CT&I e industrial não foram orientadas para aproveitar os progressos das políticas sociais, não lograram ancorar os resultados positivos da política de capacitação e de ampliação da infraestrutura de C&T e não impediram que o país continuasse perdendo capacidade produtiva e tecnológica. Essa involução está associada à própria concepção da política, baseada em modelos exógenos, com aplicação descontextualizada, e ultrapassados, baseados principalmente em uma noção restrita e linear de inovação. Seu principal problema é a ausência de um projeto nacional de desenvolvimento que a oriente e lhe dê coerência.

A partir de 2016, com o aprofundamento das políticas de austeridade, reduziu-se a importância

da CT&I. O Ministério de CT&I foi absorvido pelo Ministério das Comunicações. A isto se associou uma drástica redução de recursos orçamentários, o que desafiou os avanços obtidos no período anterior e a própria sobrevivência das instituições de ensino e pesquisa do país.

A estrutura produtiva brasileira

No início da década de 2000, a indústria brasileira se caracterizava por uma fragilidade que “se refletia na vulnerabilidade comercial em praticamente todas as áreas industriais com maior valor agregado e, principalmente, nas áreas com conteúdo tecnológico sofisticado”; a mesma fragilidade era “evidente nas indústrias tradicionais de bens de consumo não duráveis” (Cassiolato, 2001, p. 7). A explosão do desenvolvimento chinês ao longo da década de 2000 e a geração de saldos respeitáveis na balança comercial brasileira, graças ao aumento no preço e no volume de nossas exportações de *commodities*, apenas adiaram a explicitação de problemas que já eram perceptíveis na época. Desde então e até a presente década, economia e sociedade brasileiras passaram por inúmeras transformações. As políticas de inclusão social e a melhora na distribuição da renda (mas não da riqueza) foram revertidas desde o início da década de 2010, mostrando a fragilidade político-institucional desse processo. Do ponto de vista da estrutura produtiva, continuamos com um desempenho competitivo medíocre e com fragilidade comercial em todos os

segmentos com alto valor agregado e alto conteúdo tecnológico. Com poucas exceções, o Brasil só é competitivo em atividades ligadas a *commodities* com larga escala de produção e baixo valor agregado – intensivas em energia e em recursos naturais.

Entre 1947 e 1985, a participação do valor adicionado da indústria de transformação brasileira no PIB cresceu de 19,8% até um pico de 35,9%. Desde então, ela vem perdendo terreno, chegando a 18% em 2003, 13,1% em 2013 e 11% em 2016. Na indústria, também se observa a incapacidade de incorporar atividades que caracterizam a Terceira Revolução Industrial. Por exemplo, o valor da transformação industrial (VTI) do conjunto das tecnologias de informação e comunicação (TIC) vem perdendo participação relativa no VTI total da indústria manufatureira, caindo de 5,5% em 2000 para 2,17% em 2015. Em relação ao PIB, o peso dessas indústrias era de aproximadamente 1,4% em 2000, mas caiu para 0,97% em 2005 e 0,21% em 2015.⁸

Diminui o peso relativo do setor industrial e permanece baixa a capacidade inovativa. Aumentam o peso de setores menos intensivos em tecnologia, bem como a dependência e fragmentação dos sistemas produtivos brasileiros. Tudo isso tem levado a um processo de especialização regressiva (Coutinho, 1997), com importante perda do “núcleo” do tecido industrial brasileiro (Cano, 2012). Essa desindustrialização e a deterioração do tecido industrial vinculam-se a um modelo de desenvolvimento, implantado na década de

O aumento da internacionalização da estrutura produtiva brasileira dificulta o desenvolvimento tecnológico e inovativo local.

1950 e que perdura até hoje, no qual a atração de empresas transnacionais cumpre papel primordial. Nas últimas décadas, isso tem levado a uma crescente desnacionalização da economia. Dados do Banco Central mostram que o estoque de capital estrangeiro na indústria brasileira avançou de US\$ 41 bilhões em 1995 para US\$ 162,8 bilhões em 2005 e US\$ 703 bilhões em 2016. A participação do capital estrangeiro no PIB cresceu de 6,1% em 1995 para 17,7% em 2005 e 25% em 2016.

O aumento da internacionalização da estrutura produtiva brasileira é um significativo empecilho ao desenvolvimento tecnológico e inovativo local, pois as principais atividades tecnológicas das subsidiárias das empresas transnacionais resumem-se a adaptações e melhoras de produtos e processos. Além disso, essas empresas importam muitos insumos (Cassiolato *et al* 2015).

No Brasil, esperava-se que a abertura da década de 1990 pudesse motivar esforços inovativos e tecnológicos de firmas estrangeiras, contribuir para uma mudança estrutural e reduzir o déficit comercial por meio do aumento das exportações. No entanto, os novos investimentos foram em grande parte *market seeking*, voltados para explorar as oportunidades oferecidas pelo mercado interno (incluindo o Mercosul) e adquirir empresas locais. Houve pouco investimento novo. Em outro trabalho (Cassiolato e Lastres, 2013) argumentamos que os esforços tecnológicos das empresas transnacionais nos países periféricos são quase exclusivamente adaptativos. Diversos estudos so-

bre o Brasil (Cassiolato *et al* 2014) demonstram empiricamente essa argumentação.

Inovação, sistema global, financeirização e papel das empresas transnacionais

Depois do fim da Segunda Guerra Mundial, o debate brasileiro e latino-americano sobre desenvolvimento destacou o desafio de internalizar os motores do progresso técnico a partir de uma perspectiva mais ampla e sistêmica, não apenas do ponto de vista da inovação, mas, principalmente, da economia e da geopolítica global. Os estruturalistas, em especial Celso Furtado (1954), apontavam que “muitas das manifestações mais significativas do progresso técnico só podem ser captadas plenamente através de uma visão global do sistema nacional, que inclua a percepção das relações deste sistema com o ambiente que o controla e influencia”.

Esse quadro permite constatar um desafio importante para os países menos desenvolvidos: os processos de desenvolvimento desses países refletem mais propriamente processos de imitação do que uma reflexão sobre carências e potencialidades internas. Como destacou Furtado (1974), as empresas transnacionais obedecem orientações que escapam à ação isolada de qualquer governo. Na sequência, ele explicou como as empresas transnacionais bloqueiam a internalização do progresso técnico e a criação de centros dinâmicos na estrutura produtiva brasileira.¹⁰

Fajnzylber (1989, p. 857) resumiu esta discussão, apontando que “o conjunto vazio”¹¹ do desenvolvimento econômico e social latino-americano estaria diretamente vinculado à incapacidade de abrir a caixa-preta do progresso técnico. A origem disso estaria na própria formação das sociedades latino-americanas e de suas instituições, bem como em seu contexto cultural subdesenvolvido e colonizado.

No Brasil da década de 1990, a reiterada ênfase nas empresas transnacionais levou Furtado e outros estruturalistas brasileiros a alertar sobre as distorções na estrutura de produção e de mercado que poderiam advir do poder de monopólio das grandes corporações transnacionais, com a “importação de tecnologias concebidas nas economias líderes de acordo com uma constelação de recursos totalmente diferente da nossa” (Tavares 1972, 50). Nas palavras de Freeman, “a importação indiscriminada de tecnologias desenvolvidas para ambientes completamente diferentes pode ter efeitos desastrosos em termos sociais e de emprego” (1982, p. 184). A dependência tecnológica explica por que, mesmo com alto grau de diversificação, os países periféricos geralmente não são capazes de romper com a dominação econômica a que estão submetidos.

Os efeitos negativos das subsidiárias das empresas transnacionais se tornam mais claros quando se percebe que a morfologia dessas empresas e suas estratégias se alteraram profundamente na globalização dominada pelas finanças, que as subordinou à lógica e ao

comando do capital financeiro, modelando novas articulações entre finanças e indústria.

A maior parte dessas estratégias baseia-se na centralização de ativos financeiros, realizada por uma empresa *holding*, o mais das vezes localizada em paraísos fiscais, fora do alcance da legislação e do controle das instituições de seus países originários. As empresas transnacionais passam a se caracterizar por um relativo declínio da importância atribuída às atividades de produção, aumentando a relevância das atividades financeiras e a apropriação de valor em ativos intangíveis. Sauviat e Chesnais (2005) discutem os efeitos negativos dessas pressões e da tendência à maximização do retorno de curto prazo sobre os investimentos, em detrimento daqueles que implicam retorno mais longo (como em educação, capacitação e P&D). Eles apontam a predominância de estratégias adaptativas, em vez de inovadoras, alertando que tal regime sustenta-se na exploração de capacidades acumuladas no passado, principalmente por organizações públicas de ensino e pesquisa. Isso põe em risco a própria capacidade de continuar se financiando e produzindo conhecimento e inovação no futuro. Serfati (2008) acrescenta que, na maioria dos casos, as novas estratégias tentam preservar atividades que permitem obter altas margens de lucros, como *design* e inteligência de negócios, integração final do produto, assistência técnica e outros serviços pós-venda.

Manter e ampliar laboratórios de P&D nos diferentes espaços nacionais permite que a empresa

transnacional tenha maior acesso às capacitações e às rotas tecnológicas desenvolvidas em cada sistema nacional de inovação. Assim, a irradiação do avanço tecnológico segue uma direção inversa àquela que supõe o argumento usual: quando é a empresa transnacional que detém as principais capacitações e está organizada mundialmente, com posições únicas de barganha, ela consegue absorver as diferentes matrizes de conhecimentos disponíveis nos diferentes sistemas nacionais de inovação, e não o contrário (Cassiolato, Zucoloto e Tavares, 2014).¹²

Em casos em que o Brasil se destaca, a chamada internacionalização das atividades de P&D se refere, primeiramente, à aquisição de capacitações locais por parte de empresas transnacionais, especialmente pela aquisição de empresas nacionais, cujos laboratórios de P&D são “herdados” pelas compradoras. Não faltam exemplos em que as operações desses laboratórios são reduzidas ou encerradas (Cassiolato *et al.* 2001). Assim, são ilusórios e equivocados os objetivos dos países em desenvolvimento, particularmente do Brasil, ao atrair investimento estrangeiro na expectativa de que ele constitua automaticamente um pilar da renovação industrial e do aumento de capacitação tecnológica interna. Eles subestimam a natureza e a força dos fatores estruturais que modificaram significativamente as estratégias e as prioridades de investimento das empresas transnacionais.

Essas transformações são coerentes com a divisão internacional de trabalho identificada por Furtado, agora com novas caracterís-

ticas, mantendo, todavia, a concentração das atividades intensivas em conhecimento nos países centrais, com as atividades menos estratégicas localizadas nos países periféricos. Ao negar a hipótese dos benefícios da divisão internacional do trabalho baseada no princípio neoclássico das vantagens comparativas, Furtado deixa claro que a divisão do trabalho entre centro e periferia mantém e amplia os hiatos de desenvolvimento e conhecimento entre as nações. Os países líderes em produtos e serviços mais sofisticados preservam suas posições, enquanto os menos desenvolvidos ficam restritos a um padrão de produção e exportação crescentemente obsoleto e não competitivo.

Furtado também percebeu que o processo de desnacionalização e de destruição da capacidade produtiva e inovativa endógena implica perda de graus de liberdade na condução de política. Aumenta a subordinação política e econômica aos interesses do capital financeiro internacional e dos grandes conglomerados multinacionais, criando constrangimentos externos à ampliação das exportações, ao desenvolvimento da produção nacional e à capacitação endógena para gerar conhecimento e inovação (Tavares e Fiori, 1997; Fiori, 2001).

No início do século XXI, o processo de inserção internacional do Brasil e da América Latina reproduz o do início do século XX. Nessa “reinserção periférica”, nossos países se especializam nas partes menos complexas das atividades produtivas. Isto inclui principalmente as *commodities* baseadas em

grande escala de produção, baixo preço unitário e uso intensivo de recursos naturais e energéticos, produzidas com tecnologias simplificadas e trabalho repetitivo. A mão de obra envolvida nesse processo produtivo custa menos e trabalha em condições mais precárias, “flexíveis”, que não exigem altos níveis de capacitação ou conhecimento. As principais atividades, nesses casos, concentram-se na execução, distribuição e montagem de produtos.

A periferia participa dos fluxos de comércio internacional de maneira semelhante àquela de um século atrás. O centro amplia o domínio sobre as atividades intensivas em conhecimento e criatividade, estratégicas e geradoras de valor.

É preciso entender o caráter sistêmico do processo de inovação, associado às relações econômicas e tecnológicas entre países no âmbito da globalização dominada pelas finanças. Só então podemos focalizar a inserção das economias periféricas e o papel das empresas transnacionais, realizando uma discussão mais apropriada sobre as razões subjacentes ao fracasso das políticas brasileiras de inovação.

O pacote de políticas de inovação introduzido no Brasil é muito semelhante ao implantado em uma série de países em desenvolvimento, também com baixa eficácia.¹⁵ Diferentes autores apontam o papel dos organismos internacionais de financiamento na orientação e imposição de modelos de política considerados *benchmark*. Reinert (2016) argumenta que, para receber apoios, os países pobres devem se abster de usar os conhecimentos e as políticas que

os países ricos usaram e ainda usam. Ele reuniu várias evidências de que as políticas econômicas ortodoxas não contribuem para o desenvolvimento dos países, criticando as políticas do Consenso de Washington e de “seus descendentes ligeiramente modificados”.

As medidas de política adotadas no Brasil, apesar de orientadas por uma convenção desenvolvimentista, se enquadram na perspectiva neoclássica, submetidas à lógica financeira (Erber, 2011). Outros países em desenvolvimento caracterizam-se por igual subordinação, enfrentando problemas semelhantes. A baixa eficácia dessas medidas associa-se a uma percepção restrita e equivocada do processo inovativo e do papel e estratégias de seus principais atores.

Além de desconsiderar o caráter sistêmico da inovação, essas medidas superestimam o papel das subsidiárias das empresas transnacionais, considerando-as como um dos principais atores do desenvolvimento tecnológico dos países hospedeiros. Além disso, ignoram as transformações na produção global, em especial as novas estratégias dessas empresas.

Conclusão: políticas de inovação e desenvolvimento, dilemas a serem decifrados

Como argumentamos neste artigo, a estrutura industrial instalada no país não tem conseguido avançar para internalizar e aprimorar as capacitações produtivas e inovativas, tornando-se mais capaz de contribuir para o desenvolvimento brasileiro.

Inovação não se reduz a atividades de ponta. Ela se aplica a todos os segmentos, inclusive os mais tradicionais, que no Brasil têm grande peso na geração de emprego e renda para a maioria da população.

Houve inegáveis sucessos na consolidação e expansão da infraestrutura brasileira de ensino e pesquisa, particularmente com a criação de novas universidades públicas federais em regiões distantes dos centros econômicos mais importantes e a ampliação significativa das escolas técnicas federais. Mas a política industrial e de inovação tem sido incapaz enfrentar os desafios trazidos pela reorganização global da produção e pelas mudanças nas estratégias dos principais agentes do processo, as grandes empresas multinacionais.

Inovação não se limita às atividades de ponta. Ela se aplica a todos os segmentos, inclusive aos mais tradicionais. É fundamental compreender isso e ampliar a política de inovação, especialmente no caso de países como o Brasil, que possui uma estrutura produtiva heterogênea, desigualdades regionais e setores tradicionais com grande peso na geração de emprego e renda. Trabalhar com sistemas de inovação exige um novo olhar sobre esse processo e sobre a realidade específica em foco. Trata-se de construir um caminho próprio e não de buscar um *catch-up* linear

a partir de *benchmarkings* da experiência de países desenvolvidos. Um caminho que considere a história, a geopolítica e as condições territoriais específicas do país.

As políticas não podem se limitar a oferecer mecanismos e incentivos para as empresas realizarem projetos pontuais de P&D. As atividades de inovação das empresas subordinam-se às suas estratégias mais gerais, que existem no âmbito dos sistemas produtivos e inovativos em que elas estão inseridas. Isso exige políticas sistêmicas, territorializadas e focadas, com perspectiva de longo prazo, capazes de mobilizar projetos cooperativos que deem resposta aos desafios da indústria e da sociedade.

Vimos que a estrutura industrial brasileira perdeu densidade e qualidade. Seus encadeamentos intersetoriais se fragilizaram e o conteúdo importado aumentou, especialmente nos segmentos de maior intensidade tecnológica e valor adicionado. Isso não resulta apenas de limitações das políticas industriais e tecnológicas explícitas. O ambiente macroeconômico nacional perverso, com câmbio valorizado, juros elevados e outras características operaram como poderosa política implícita contrária ao esforço produtivo e inovativo, impactando diretamente as decisões de investimento, sobretudo as de risco, como as de inovação e desenvolvimento tecnológico.

Essas conclusões realçam a importância de analisar a influência dos cenários macroeconômicos e do contexto político-institucional sobre as políticas de promoção do desenvolvimento. É preciso conhecer o modo como o Brasil se

insere no cenário geopolítico mundial, a orientação dada ao desenvolvimento e as condições reais de se implementar qualquer política, especialmente para CT&I. O dinamismo da nossa economia está ainda mais ameaçado pela política de austeridade e pelo ajuste fiscal em vigor desde 2015. Há, ainda, uma economia global em crise, que começou nos Estados Unidos, se disseminou e se aprofundou a partir de 2008.

Reiteramos o importante legado dos autores que nos ajudaram a compreender a natureza das crises da economia mundial e os meios para superá-las. É preciso reconhecer a capacidade de as políticas, públicas e privadas, apoiarem e reorientarem os sistemas nacionais de produção e inovação. Freeman (2003, 2007), por exemplo, sempre assinalou a relevância de tal capacidade, particularmente em períodos de rupturas e crises, que ele associava a mudanças de paradigmas tecnoeconômicos. Para retomar o desenvolvimento no século XXI, ele salientou a necessidade de políticas de regulação e renovação das capacitações produtivas e inovativas, observando os imperativos de inclusão social, diminuição de desigualdades e sustentabilidade ambiental. No início do milênio, quando muitos apregoavam as vantagens do Estado reduzido e das políticas mínimas, ele defendia exatamente o contrário: “A agenda de políticas ativas é ampliada, em vez de se tornar obsoleta. Isto requer implantar formas ainda mais sofisticadas para promover o desenvolvimento industrial e tecnológico, levando em conta as condições locais e nacio-

nais, o novo padrão de acumulação e as novas formas de governança em nível mundial” (Freeman, 2003).

A crise global, em curso, tem aspectos econômicos (baixo crescimento do PIB mundial, estagnação do comércio internacional e da demanda global da maioria de bens e serviços, baixos níveis de investimento), sociais (aumento da desigualdade e da pobreza) e, sobretudo, políticas (ameaças à ordem democrática e surgimento de radicalismo de extrema direita). Ela é agravada pela hegemonia das políticas de austeridade, acompanhadas de aumento do protecionismo. Tudo isso exige uma reflexão sobre as possibilidades futuras do desenvolvimento produtivo e inovativo no Brasil e de sua política de CT&I, que depende de alguns fatores básicos. O primeiro, e mais importante, refere-se ao estabelecimento de uma visão estratégica de longo prazo capaz de angariar consenso e apoio. Isto é, da definição do projeto de país que queremos e podemos implementar. O segundo remete à necessidade de visualizar um desenvolvimento apropriado, coeso e com visão de futuro.

É urgente definir um projeto nacional de desenvolvimento que seja inclusivo, coeso e com visão de futuro, que recupere o planejamento de longo prazo e sua capacidade de considerar a heterogeneidade e as especificidade das estruturas sociais e econômicas brasileiras.

Apesar da retórica sobre a dimensão sistêmica da inovação, nas últimas décadas a política brasileira de CT&I tem apoiado a apro-

Um ambiente macroeconômico perverso, com câmbio valorizado e juros elevados, impacta as decisões de investimento e dificulta o esforço inovativo, de grande dimensão, que a economia brasileira precisaria realizar.



ximação da universidade com o setor produtivo e o suporte à P&D através de estímulos fiscais e creditícios. Esta concepção, que focaliza tão somente o tratamento de falhas de mercado, foi difundida em nível internacional, com resultados pouco expressivos (Casoliato e Lastres, 2011).

Para o sucesso da política, é preciso não mimetizar as agendas dos países considerados mais desenvolvidos. É preciso colocar no centro do debate a contextualização da política, adequando-a às especificidades da sociedade e da economia brasileira e aos seus objetivos de desenvolvimento.

A contextualização da política significa equacionar prioritariamente os principais problemas da nossa economia e sociedade, buscando fazer convergir o desenvolvimento produtivo e as ações de impacto social.

Além da tendência a imitar modelos, agendas e instrumentos de política gerados em outros contextos, sem adequá-los, nós temos dissociado os objetivos da política de CT&I (e industrial) e as necessidades do desenvolvimento social. Demandas de saúde, educação, habitação, transporte, saneamento e cultura, entre outras, são intensivas em capacitação produtiva e inovativa e em novas tecnologias que não podem ser importadas. São específicas aos diferentes territórios.

A agenda precisa manter a dimensão social no centro de suas preocupações, mobilizando e consolidando as novas estruturas de ensino e pesquisa tecnológica, voltadas a problemas locais, como os institutos federais, as novas universidades públicas regionais e os centros vocacionais tecnológicos. Estas instituições já são aproveita-

das, de forma incipiente, na capacitação tecnológica e na difusão de conhecimentos de C&T, tendo em vista melhorar os arranjos produtivos locais, mas esta preocupação ainda é reduzida.

Uma grande oportunidade seria estimular o desenvolvimento de arranjos produtivos e inovativos voltados para ampliar a qualidade e a provisão dos serviços públicos essenciais. A política deveria ser orientada, principalmente, para mobilizar e adensar capacidades, atividades e sistemas produtivos e inovativos voltados para prover alimentos, saúde, educação, habitação (com saneamento e acesso a água e energia), tratamento de resíduos sólidos, cultura, entre outros serviços públicos.

Além de promover maior integração e fortalecimento da política de desenvolvimento, as políticas de CT&I devem avançar

na exploração da dimensão territorial. Até aqui, elas ainda incorporam uma visão ultrapassada, do ponto de vista espacial. Ainda colocam a questão regional apenas como um apêndice compensatório. O enfoque setorial ainda é pensado de forma desterritorializada.

Finalmente, o Brasil deveria aproveitar as oportunidades decorrentes do esgotamento do paradigma produtivo baseado na produção e no consumo de massas, intensivo na exploração de recursos naturais não renováveis. Dadas as nossas especificidades, é grande o potencial do novo paradigma que gira em

torno da sustentabilidade. É preciso eleger prioridades que se relacionem com os grandes desafios da sociedade brasileira. A seleção de setores considerados “estratégicos” ou “portadores de futuro” deveria contemplar, em primeiro lugar, aqueles de maior impacto em nossa economia e sociedade. Além de inaugurar novos e adequados espaços para o desenvolvimento brasileiro, tais propostas têm potencial para resolver algumas de suas mais graves distorções e mais prementes ameaças: a desindustrialização e a escalada das importações de manufaturados, tecnologias e demais bens e serviços.

Tal estratégia pode contribuir para inverter a lógica que tem prevalecido no desenvolvimento brasileiro, descortinando, mobilizando e enraizando potencialidades portadoras de futuro. Este caminho está longe de ser trivial. No entanto, é uma entre várias possibilidades pensadas por Celso Furtado, seus colegas e seguidores há muito tempo – a de avançarmos no entendimento dos dilemas colocados para o nosso desenvolvimento e perseverarmos na decifração de formas para alcançá-lo. Nesta agenda, a contribuição do capital estrangeiro seria, no máximo, marginal. ■

Notas

1. Ver Cassiolato, 2001.
2. As três principais fontes de financiamento para as instituições públicas de ciência e tecnologia – o FNDCT e os orçamentos do CNPq e da Capes – receberam em 1985 apenas 40% do montante que foi a elas alocado em 1979 (Bielchowsky, 1985).
3. Coutinho, 2005.
4. Cassiolato, 1992; Cassiolato e Lastres, 2016; Castro et al., 2017.
5. No início da segunda década do milênio foi introduzida, infelizmente de forma tímida, uma agenda que destacava o poder de compra estatal como importante mecanismo de política de inovação. Um pequeno resultado positivo foi alcançado, em especial na área de saúde, mas a experiência foi abandonada em 2016.
6. Sobre o que denominamos a exclusão invisível por parte de conceitos e modelos de política por definição restritivos, ver Lastres e Cassiolato, 2017.
7. Os dados da Pintec do período 2000–2015, relativos às subsidiárias de empresas transnacionais com mais de quinhentos empregados em setores intensivos em tecnologia, mostram a dramaticidade da situação. Nas atividades que mais receberam incentivos fiscais e creditícios (indústria automobilística, farmacêutica, de equipamentos de comunicações, química e de máquinas e equipamentos), as empresas transnacionais, de fato, diminuíram significativamente seus dispêndios com inovação no Brasil (Cassiolato e Lastres 2016 e Cassiolato, Szapiro e Lastres 2015).
8. Dados do IBGE. Como comparação, entre 2008 e 2010, nos EUA, o peso das TIC no PIB geral era de aproximadamente 9% e na União Europeia oscilava entre 5% e 7% (Cassiolato et al., 2015). O esvaziamento dos sistemas produtivos e inovativos do complexo eletrônico (equipamentos de comunicações e de informática) pode ser constatado com a observação de que, já em 2008, aproximadamente 70% da demanda final brasileira destes produtos era suprida por importações. A indústria nacional já diferia “muito pouco de uma típica indústria maquiadora” (Morceiro, 2012, p. 190).
9. https://www.bcb.gov.br/Rex/CensoCE/port/resultados_censos.asp?idpai=CAMBIO
10. Furtado, 1981. Em seu livro de 1954, Furtado já argumentava que a remuneração de investimentos estrangeiros significava um vazamento de recursos que limitava a possibilidade de reinvestimento local. A entrada de capitais estrangeiros, mesmo em períodos de grande influxo (1925–1929), não era suficiente para compensar os serviços dos capitais correspondentes, além de agravar o problema da vulnerabilidade externa, limitando a taxa de investimento possível.
11. A expressão conjunto vazio tem por referência uma matriz em que na vertical consta crescimento e na horizontal consta distribuição de renda. Na América Latina, não há países que simultaneamente foram dinâmicos e tiveram boa distribuição de renda: este é o conjunto vazio nessa região.
12. Ainda que um determinado sistema nacional de inovação não esteja articulado de forma a gerar uma dinâmica inovativa (e, portanto, produtiva), este quase sempre terá capacitações específicas e ativos complementares que são úteis à estratégia transnacional global.
13. Scerri e Lastres (2013) e Cassiolato e Vitorino (2010) apresentam evidência nesta direção para a política de inovação de Brasil, Rússia e África do Sul. Kahn, Melo e Matos (2014) mostram, para os mesmos países, as deficiências e insuficiências dos mecanismos financeiros de apoio à inovação.

Referências bibliográficas

- BIELCHOWSKY, R. “Situação do apoio financeiro do governo federal à pesquisa fundamental no Brasil”, Rio de Janeiro: Finep, 1985.
- CANO, W. “Desindustrialização no Brasil”. *Economia e Sociedade*, v. 21, n. 1, Especial, p. 831-851, 2012.
- CASSIOLATO, J. “The Role of the User-Producer Relations in Innovation and Diffusion of New Technologies: Lessons from Brazil”. Tese de Doutorado, SPRU, University of Sussex, Brighton, Reino Unido, 1992.
- CASSIOLATO, J. E. “Que futuro para a indústria brasileira?”. In: *O futuro da indústria, oportunidades e desafios: a reflexão da universidade*. Brasília: MDIC/ IEL Nacional, 2001. p. 9-47.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. (Ed.). *Globalização e inovação localizada: experiências de sistemas locais no Mercosul*. Brasília: IBICT, 1999.
- _____. “Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política”. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 1, p. 34-45, jan./mar. 2005.
- _____. “Introduction”. In: CASSIOLATO, J. E.; VITORINO, V. (Ed.). *BRICS and development alternatives: innovation systems and policies*. Londres: Anthem Press, 2011. p. 1-34.
- _____. “O desenvolvimento brasileiro no século XXI”. In: LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; LAPLANE, G.; SARTI, F. (orgs). *O futuro do desenvolvimento: ensaios em homenagem a Luciano Coutinho*. Campinas: Unicamp, 2016. p. 267-309.
- CASSIOLATO, J. E.; SZAPIRO, M.; LASTRES, H. M. M. “Dilemas e perspectivas da política de inovação”. In: BARBOSA, N.; MARCONI, N.; PINHEIRO, M.; CARVALHO, L. *Indústria e desenvolvimento no Brasil*. São Paulo: FGV, 2015. p. 377-416.
- CASSIOLATO, J. E.; ZUCOLOTO, G.; ABROL, D.; LIU, X. *BRICS National Systems of Innovation: Transnational corporations and local development*. Nova Deli: Routledge, 2014.
- CASSIOLATO, J. E.; ZUCOLOTO, G.; TAVARES, J. M. H. “Empresas transnacionais e desenvolvimento tecnológico brasileiro: uma análise a partir das contribuições de François Chesnais”. In: CASSIOLATO, J. E.; MATOS, M. P. M.; LASTRES, H. M. M. (Ed.) *Desenvolvimento e mundialização: o Brasil e o pensamento de François Chesnais*. Rio de Janeiro: E-papers, 2014. p. 177-212.
- CASSIOLATO, J. E.; VITORINO, V. (Ed.). *BRICS and development alternatives: innovation systems and policies*. London: Anthem Press, 2011.
- CHESNAIS, F. “La Crise et le dépassement du capitalisme chez Marx”. *Cités*, n. 3, p. 115-125, 2014.
- _____. “Present international patterns of foreign direct investment; underlying causes and some policy implications for Brazil”. In: *The International Standing of Brazil in the 1990s*. Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 26-30 mar. 1990. p. 1-49.
- CHESNAIS, F.; SAUVIAT, C. “The financing of innovation-related investment in the contemporary global finance-dominated accumulation regime”. In: CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M.; MACIEL, M. L. (Ed.). *Systems of innovation and development: evidence from Brazil*. Cheltenham: Edward Elgar, 2003. p. 61-118.
- COUTINHO, L. G. “Regimes macroeconômicos e estratégias de negócios: uma política industrial alternativa para o Brasil no século XXI”. In: LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; ARROIO, A. (Org.). *Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: UFRJ; Contraponto, 2005. p. 429-448.
- COUTINHO, L. G.; BELLUZZO, L. G. M. “Desenvolvimento e estabilização sob finanças globalizadas”. *Economia e Sociedade*, Campinas, n. 7, p. 129-54, dez. 1996.
- ERBER, F. “As convenções de desenvolvimento no governo Lula: um ensaio de economia política”. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 31, n. 1, p. 31-55, 2011.
- _____. “Desenvolvimento tecnológico e intervenção do Estado: uma comparação entre a experiência brasileira e a dos países centrais”. *Revista de Administração Pública*, v. 14, n. 4, 1980.
- FAJNZYLBBER, F. “Industrialización en América Latina: de la ‘Caja Negra’ al ‘Casillero Vacío’: comparación de patrones contemporáneos de industrialización”. *Cuadernos de la Cepal*, n. 60. Santiago: Cepal/FAO, 1989.
- FREEMAN, C. 2003. “A hard landing for the ‘new economy’?” In CASSIOLATO, J.E.; LASTRES, H.M.M.; MACIEL, M.L. *Systems of Innovation and Development: Evidence from Brazil*. Cheltenham: Edward Elgar.
- _____. *The Economics of Industrial Innovation*. Londres: Pinter, 1982.
- FIORI, J. L. “Sistema mundial: império e pauperização para retomar o pensamento crítico latino-americano”. In: FIORI, J. L.; MEDEIROS, C. (Org.). *Polarização mundial e crescimento*. Rio de Janeiro: Vozes, 2001. p. 39-76.
- FURTADO, C. “Estado e empresas transnacionais na industrialização periférica”. *Revista de Economia Política*, v. 1, n. 1, jan./mar. 1981.
- _____. *O mito do desenvolvimento econômico*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1974.
- _____. *A economia brasileira: contribuição à análise do seu desenvolvimento*. Rio de Janeiro: A Noite, 1954.
- KAHN, M.; MELO, L.; MATOS, M. G. *BRICS national systems of innovation: the financing of innovation*. Nova Déli: Routledge, 2014.
- LASTRES, H. M. M. “Invisibilidade, injustiça cognitiva e outros desafios à compreensão da economia do conhecimento”. In: MACIEL, M. L.; ALBAGLI, S. (Org.) *Informação e desenvolvimento: conhecimento, inovação e apropriação social*. Brasília: IBICT; Unesco, 2007. p. 185-212.
- MORCEIRO, P. *Desindustrialização na economia brasileira no período 2000-2011: abordagens e indicadores*. São Paulo: Unesp, 2012.
- SCERRI, M.; LASTRES, H. *BRICS national systems of innovation: the role of the State*. Nova Déli: Routledge. 2013.
- SERFATI, C. “Financial dimensions of transnational corporations, global value chain and technological innovation”. *Journal of Innovation Economics*, v. 2, p. 35-61, 2008.
- _____. “La Logique financieri-entrepreneuriale des sociétés transnationales”. *European Journal of Economic and Social Systems*, n. 1-2/2011, p. 155-180, 2011.
- TAVARES, M. C. *Da substituição de importações ao capitalismo financeiro*. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.
- TAVARES, M. C.; FIORI, J. L. (Ed.). *Desajuste global e modernização conservadora*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1993.

A matriz energética brasileira no horizonte de 2050

As reservas energéticas brasileiras nos asseguram autossuficiência. Somente em fontes não renováveis, no horizonte já estudado, o Brasil dispõe de reservas superiores a 20 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo (Tep) para atender a uma demanda anual de 600 milhões de Tep em 2050. Ou seja, as reservas dessas fontes atendem à demanda por mais de trinta anos. Mais surpreendente é que o Brasil tem um potencial de fontes renováveis superior a 7 bilhões de Tep, quase dez vezes a nossa demanda em 2050.

De acordo com o Balanço Energético Nacional ano-base 2017 (BEN 2018), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério das Minas e Energia, a oferta interna de energia foi de 293,5 milhões de Tep, para um consumo de 260,0 milhões de Tep, com perdas de 33,5 milhões de Tep. O Brasil também se destacou em 2017 pela qualidade dessa oferta, com 43,2% de fontes renováveis, quando a média mundial é de 13,7%. Nesse ano, as principais fontes renováveis foram biomassa de cana (17,4%), hidráulica (11,9%), lenha e carvão vegetal (8,0%), lixo e outras (5,8%).

Atualmente, a EPE elabora estudos e coordena debates para construir a nova matriz energética, tendo como horizonte o ano de 2050, denominando-a Plano Energético Nacional (PEN 2050). Os estudos já disponíveis apontam que nesse ano o Brasil demandará cerca de 600 milhões de Tep em energia.

A nota técnica PR 04/18 da EPE, Potencial de Recursos Energéticos-2050, recentemente disponibilizada, traz informações técnicas importantes sobre a nossa matriz energética. Além disso, oferece elementos para definirmos estratégias e políticas públicas para a exploração da matriz, de modo a garantir segurança energética na primeira metade do século XXI. Também oferece os caminhos para ampliar o uso desses recursos energéticos com o mínimo de agressão ao meio ambiente.

Este trabalho se propõe a oferecer uma síntese do estudo disponibilizado pela EPE, através da NT 04/18. O balanço energético no horizonte 2050, feito pela EPE, aparece na Figura 1.



**João Bosco de Almeida**

Engenheiro, ex-presidente da Companhia Hidrelétrica do São Francisco, ex-secretário de Infraestrutura de Pernambuco e consultor.

O Brasil dispõe de recursos energéticos em grande escala, mais do que suficientes para suprir as necessidades da sociedade, inclusive em longo prazo. Nossa estratégia de desenvolvimento deveria privilegiar as fontes renováveis. A região Nordeste pode se transformar em grande fornecedora de energia para todo o país, pois tem os melhores ventos, recebe a maior insolação, conta com 3 mil quilômetros de litoral para a construção de usinas offshore, abriga as maiores reservas de urânio, produz muita biomassa e tem áreas propícias para a plantação de florestas energéticas.



Do ponto de vista da oferta interna, a matriz energética sintetizada na Figura 1 deixa o Brasil num patamar confortável nos próximos trinta anos. Considerando a demanda interna estimada em 600 milhões de Tep em 2050, as necessidades brasileiras poderiam ser atendidas somente com os recursos não renováveis potencialmente disponíveis. Mais importante: os recursos renováveis estimados são dez vezes superiores às nossas necessidades. O desafio que está posto para os governos e para a sociedade é maximizar o uso das fontes renováveis no suprimento das nossas necessidades energéticas, dispensando cada vez mais o uso de fontes poluidoras.

O Brasil foi pioneiro na substituição de derivados de petróleo por álcool de cana-de-açúcar, no final da década de 1990. Na época,

o Pro-álcool apontou ao mundo um importante caminho para reduzir os efeitos das emissões de gases de efeito estufa, principalmente no transporte de pessoas e de mercadorias. A indústria automobilística se modernizou e produziu a linha de veículos flex-fuel, hoje predominante. A Lei Brasileira de Resíduos Sólidos, em vigor desde 2010, sinalizou para o uso da biomassa dos resíduos urbanos na geração de energia. As florestas energéticas, ainda incipientes, já marcam presença no Brasil, e a energia de origem eólica e solar começou a ocupar importantes espaços em nossa matriz. Infelizmente, falta ao país a definição de uma estratégia integrada de longo prazo para o uso dos nossos abundantes recursos energéticos. Isto exigirá um amplo debate que produza um consenso social

que concilie os compromissos com o desenvolvimento econômico e social, de um lado, e a sustentabilidade ambiental, de outro. Conhecer nossas riquezas energéticas é a base disso.

O Brasil intensificou os estudos de inventário dos seus recursos energéticos na segunda metade do século XX, depois de criar a Petrobras e a Eletrobras, coordenadas pelo Ministério das Minas e Energia, que também prospectava os recursos minerais. As universidades tiveram papel decisivo no suporte à elaboração desses estudos.

Na virada para o século XXI, o Brasil institucionalizou o planejamento energético de maneira mais robusta com a criação do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE, agosto de 1997) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, março de 2004).

Figura1 | Potencial energético brasileiro (milhões de Tep)

	FONTE	2015 - 2050		FONTE	2015 - 2050
Renováveis	Biomassa	531	Não Renováveis	Petróleo	9.047
	Hidráulica	74		Gás Natural	2.926
	Eólica Onshore	30		Carvão Mineral	7.157
	Eólica offshore	1.356		Urânio	2.411
	PV Onshore	43		SUB-TOTAL 1	21.541
	Hidrotérmica	57	DEMANDA ESTIMADA EM 2050 = 600Mtep		
	PV Offshre	5.247			
	Oceânica	34			
	SUB-TOTAL 2	7.372			

Observações: (1) Inclui os recursos convencionais descobertos, contingentes e não descobertos. (2) Inclui os recursos convencionais descobertos e não descobertos e os recursos não convencionais. (3) Considera as reservas totais, com uma recuperação média de 77% e o poder calorífico de 3.900kcal/kg. (4) Considera as reservas totais e perdas de mineração e de beneficiamento. (5) Considera as áreas com faixa de irradiação de 6,0 a 6,2 kwh/m². (6) Considera as áreas com faixa de irradiação de 6,5 a 6,8kwh/m².

A biomassa, os rios, os ventos, a insolação, o petróleo, o gás natural, o urânio e o carvão mineral são os principais componentes de uma matriz energética diversificada e muito generosa.

Em 2007, a EPE elaborou o PNE-2030, seu primeiro plano integrado de energia com o olhar no longo prazo, marcando a retomada do planejamento energético nacional. Foi o mais importante estudo governamental de planejamento integrado de energia. De lá para cá, os dados disponibilizados pelo PNE-2030 foram uma importante referência na elaboração de cenários para estudos econômico-energéticos de longo prazo. Eles têm sido usados nas diversas esferas governamentais e em estudos sobre energia produzidos pelos mais diversos setores da sociedade. Nasceram as primeiras diretrizes de governo, dotadas de sólidos fundamentos, para priorizar o uso dos recursos energéticos brasileiros.

O plano ressaltou a importância estratégica da energia nuclear, colocou a hidreletricidade como fonte prioritária para geração de energia elétrica, ampliou a importância do gás natural e do etanol na composição da matriz energética e destacou o elevado potencial de produção de petróleo e gás natural em terras e águas brasileiras.

Entre 2007 e os dias atuais houve mudanças: os preços dos energéticos fósseis voltaram a experimentar grande volatilidade, a sociedade impôs severas restrições ao uso da hidreletricidade (principalmente na Amazônia, onde se encontra o grande potencial ainda não explorado), ocorreram acidentes nucleares mundo afora, a energia eólica e solar se tornou economicamente viável e os combustíveis fósseis não convencionais, mais baratos, começaram a ser intensamente explorados nos Estados Unidos. Tais eventos demonstraram que o planejamento energético é um instrumento indispensável para a orientação estratégica de qualquer nação. É indispensável conhecer os nossos recursos energéticos para saber usá-los e preservá-los.

A nossa matriz energética

Recentemente, a EPE tornou pública a Nota Técnica PR 04/2018, uma referência para a elaboração do PNE 2050. Já na introdução a EPE chama atenção para o fato de que, apesar de termos recursos para autossuficiência energética e exportarmos petróleo, ainda importamos eletricidade e combustíveis.

A MATRIZ RENOVÁVEL BIOMASSA

Aqui está uma das grandes riquezas brasileiras. A bioenergia deverá alcançar, no horizonte do plano, mais de 500 milhões de Tep, ou cerca de 8% da bioenergia mundial. Seu uso vem crescendo rapidamente. Na proposta que elaborou, a EPE reconheceu que a bioenergia, além de contribuir para melhorar a qualidade ambiental

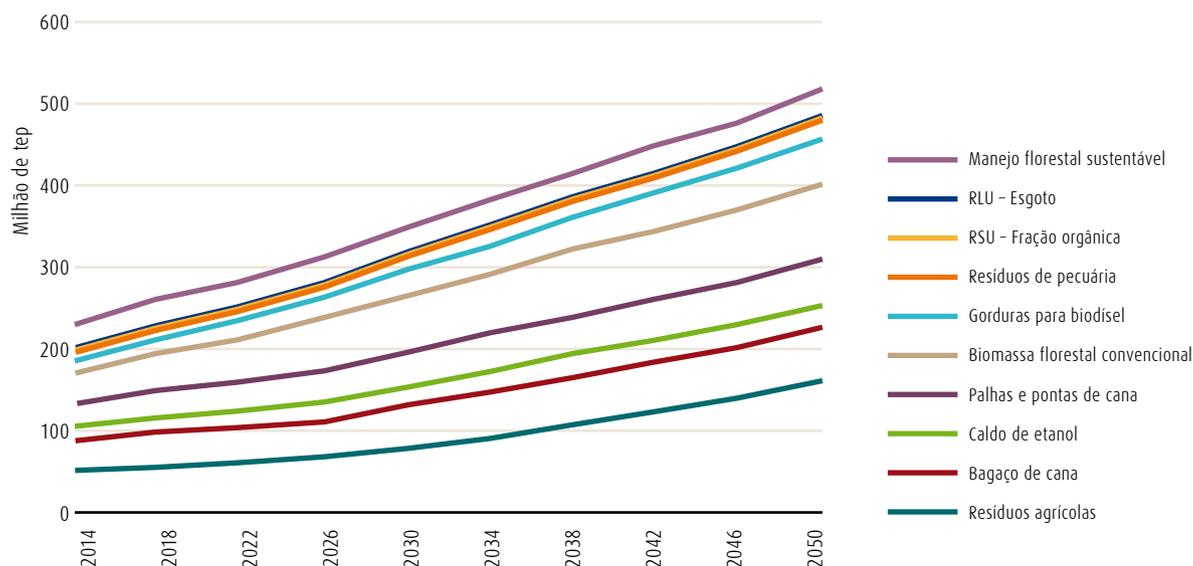
da matriz energética, tem papel fundamental no desenvolvimento rural. Em 2014, segundo o Balanço Energético Nacional, a bioenergia representou 25,6% da oferta interna de energia. Os produtos da cana contribuíram com 15,7%, os de lenha e carvão vegetal com 8,1% e a lixo com 1,8%.

O Brasil pode produzir biomassa em todo o seu imenso território, tem condições climáticas muito favoráveis, domina a tecnologia de produção com competitividade e dispõe de mercado abundante. Além disso, instituiu políticas nacionais que obrigam tratamento e destinação adequada de resíduos. A precária infraestrutura de logística, predominantemente rodoviária, dificulta a expansão da produção e do uso da bioenergia.

Apesar do alto grau de conhecimento tecnológico e da capacidade operacional para produzir biomassa a partir da cana-de-açúcar e de florestas, o Brasil possui uma imensa quantidade de biomassa ainda não explorada adequadamente, destacando-se resíduos agrícolas (como a palha e a ponta da cana-de-açúcar), gorduras para biodiesel, resíduos da pecuária, resíduos orgânicos do lixo urbano, resíduos líquidos do tratamento de esgotos e biomassa de manejo florestal.

Para as projeções do plano energético, a EPE estudou detalhadamente as áreas disponíveis para produzir biomassa, incluindo os custos em cada uma delas e respeitando rigorosamente as áreas com restrição, como terras indígenas e quilombolas, áreas de conservação/reserva le-

Figura 2 | Evolução do potencial de bioenergia no longo prazo



Fonte: EPE.

gal, áreas urbanas, pantanais e Amazônia legal, entre outras. O resultado do estudo apontou uma área potencial de 144 milhões de hectares para expansão da fronteira agrícola. Grande parte dela já apresenta uso antrópico, classificado como pecuária ou agropecuária, ou é coberta por vegetação nativa. As diretrizes apontadas para potencializar o uso da energia das biomassas representam um valioso roteiro para a formulação de políticas públicas neste tema.

A definição de políticas para expandir e explorar a fonte energética de biomassa, fundamental para construir uma matriz limpa, deve examinar a complexa malha de interdependência com outros setores, como meio ambiente, agricultura e pecuária, segurança alimentar, ocupação da terra, desenvolvimento tecnológico e capacidade de financiamento, entre outros. Além de muito importante por si mesmo, o aumento da

participação da bioenergia em nossa matriz também gera muito emprego de mão de obra menos qualificada. As projeções do estudo da EPE podem ser vistas na Figura 2.

Cabe destacar as conclusões da EPE sobre a bioenergia: “Em 2050, o potencial da biomassa será de 530 milhões de Tep. No ano, a biomassa residual agrícola poderá contribuir com cerca de 165 milhões de Tep, representando a principal fonte com potencial para oferta de bioenergia. Somados, os produtos da cana – bagaço, caldo dedicado para etanol, palhas e pontas de cana – ocupam a segunda colocação e deverão responder por 152 milhões de Tep. Além disso, há os 17 milhões de Tep do biodiesel produzido a partir do óleo de dendê no bioma amazônico, não representados na figura. As gorduras para biodiesel apresentam um potencial energético de 56 milhões de Tep. Já a biomassa flores-

tal e os resíduos da pecuária (aproveitados na forma de biogás) poderão contribuir com 95 milhões de Tep e 28 milhões de Tep, respectivamente. O manejo florestal sustentável apresenta um potencial de 32 milhões de Tep.”

“O Brasil já possui uma posição de destaque mundial em termos de renovabilidade da matriz energética. A projeção do potencial de biomassa para fins energéticos indica que há muito espaço para avançar.”

“O desenvolvimento das cadeias energéticas baseadas na biomassa pode aumentar significativamente a oferta de energia renovável através de diversos energéticos, tais como biogás, biometano e lenha para geração elétrica. Além disso, como a maior parte do potencial reside em dois grandes grupos, a indústria sucroalcooleira e a biomassa residual, o desenvolvimento desse potencial apresenta vantagens competitivas interessantes.

No caso da indústria sucroalcooleira, a principal vantagem são os parques produtores e os mercados já instalados. No caso da biomassa residual, a vantagem está no aumento da produtividade econômica, pois há geração de valor a partir dos resíduos, bem como a mitigação de impactos ambientais locais e regionais.”

A MATRIZ RENOVÁVEL RECURSOS HÍDRICOS

A hidreletricidade respondia por 16,6% da produção mundial de energia em 2014. O Brasil, segundo maior país em potência instalada (89 GW), responde por 8,6% da capacidade mundial instalada. Além de ser uma fonte limpa, renovável e de baixo custo, as hidrelétricas operam de maneira muito flexível e seus reservatórios têm importante papel na regularização de vazões a jusante. Também apresentam outras importantes externalidades ao projeto de geração de energia. Por outro lado, o uso múltiplo das águas, cada vez mais demandado pela sociedade, vem impondo restrições operativas, principalmente na última década, quando houve sucessivos ciclos hidrológicos ruins.

O Brasil ainda tem grandes potenciais hidrelétricos para explorar, mas eles se localizam predominantemente na região amazônica. Por isso, a sociedade resiste à expansão do uso de hidreletricidade na matriz. Mesmo fazendo escolhas por reservatórios a fio d'água, com pouco desmatamento, existem áreas de preservação ambiental. As dificuldades para implantar novos projetos são cada vez maiores. A isto se acrescenta a necessidade de

construir milhares de quilômetros de linhas de transmissão, cruzando aquelas áreas amazônicas. Por isto, a seleção de novos projetos de usinas hidrelétricas precisará conciliar custos de implantação, benefícios energéticos e impactos socioambientais.

A decisão de construir a usina de Belo Monte provocou grande reação no Brasil e em outros países. O governo foi levado a rever o projeto inicial, reduzindo significativamente o reservatório e, na mesma proporção, a energia assegurada. Adiante, quando começaram estudos detalhados dos aproveitamentos do rio Tapajós, novos focos de resistência resultaram em grandes atrasos nos projetos. Embora isso não tenha sido explicitado, as entidades responsáveis pelo planejamento energético têm se afastado cada vez mais da alternativa hidrelétrica na região amazônica, onde se encontra quase todo o potencial não explorado. Buscam-se novos arranjos para tirar proveito deste potencial, por exemplo, evitando-se a construção de reservatório e implantando-se usinas de ponta e reversíveis.

Mesmo diante dessas restrições, no PNE 2050 a EPE incluiu o potencial hidrelétrico brasileiro na matriz energética, como não poderia deixar de fazer.

De acordo com relatório da Eletrobras de 1994, o potencial hidrelétrico estimado foi de 261,4 GW, dos quais 61 GW já estavam em operação e 10 GW eram para usinas de ponta. Já estavam inventariados 98 GW, e 102 GW foi um valor estimado.

No PNE 2030 (Brasil, 2007b), o potencial de 251 GW era com-

Entre 2001 e 2017, a capacidade instalada de usinas eólicas no mundo passou de 23,9 GW para 539,6 GW. Os equipamentos já funcionam também sobre a superfície dos oceanos, ampliando seu raio de ação.

posto pelo potencial aproveitado até então (78 GW), pelo potencial inventariado (126 GW) e por um potencial estimado (47 GW). Após a publicação do PNE 2030, parte do potencial inventariado foi construída ou está em construção e parte do potencial estimado foi objeto de estudos de inventário. Novos inventários foram realizados e outros revisados, aumentando a precisão e a confiabilidade do potencial hidrelétrico.

Após a publicação do PNE 2030, foram realizados pela EPE e aprovados pela Aneel os inventários hidrelétricos dos rios Aripuanã, Araguaia, Branco, Jari, Juruena e Sucunduri, alguns dos maiores rios brasileiros, o que trouxe maior confiabilidade às estimativas. Os valores potenciais a serem incorporados ao PNE 2050 só consideraram os levantamentos das potências instaladas das usinas hidrelétricas, incluindo aquelas com

potência inferior a 30MW, desconsiderando-se os potenciais apenas estimados (“Relatório de acompanhamento de estudos e projetos de usinas hidrelétricas. Situação de 14/07/2017”, Aneel, 2017). O resultado do levantamento indicou um potencial hidrelétrico de 176 GW, sendo 108 GW em operação e construção e 68 GW inventariado (Figura 3).

A MATRIZ RENOVÁVEL ENERGIA EÓLICA

O uso da força dos ventos para gerar energia elétrica em grande escala começou no final do século XX, seja pelos avanços tecnológicos, seja, principalmente, pelos incentivos governamentais para reduzir as emissões de gases e contemplar outras preocupações ambientais. Os países que mais se destacaram na implantação de usinas eólicas, segundo GEWC (2018), foram China (35%), Estados Unidos (17%) e Alemanha (10%). Entre 2001 e 2017 a capacidade instalada de usinas eólicas no mundo saltou de 23,9 GW para 539,6 GW, ou seja, 22 vezes maior. A quase

Figura 3 | O potencial hidrelétrico brasileiro

Etapa	Usina Hidrelétrica (GW)	UHE P<30MW (GW)	Total (GW)	Participação (%)
Em Operação e Construção	102	6	108	61,36%
Potencial Inventariado	52	16	68	38,64%
Potencial Hidrelétrico Brasileiro	154	22	176	100%

Fonte: EPE. Observações: (1) Considera-se apenas 50% da potência de Itaipu (usina binacional). (2) Do total de 52 GW de potencial das UHEs, cerca de 12 GW não apresentam interferência em áreas protegidas (unidades de conservação, terras indígenas e territórios quilombolas).

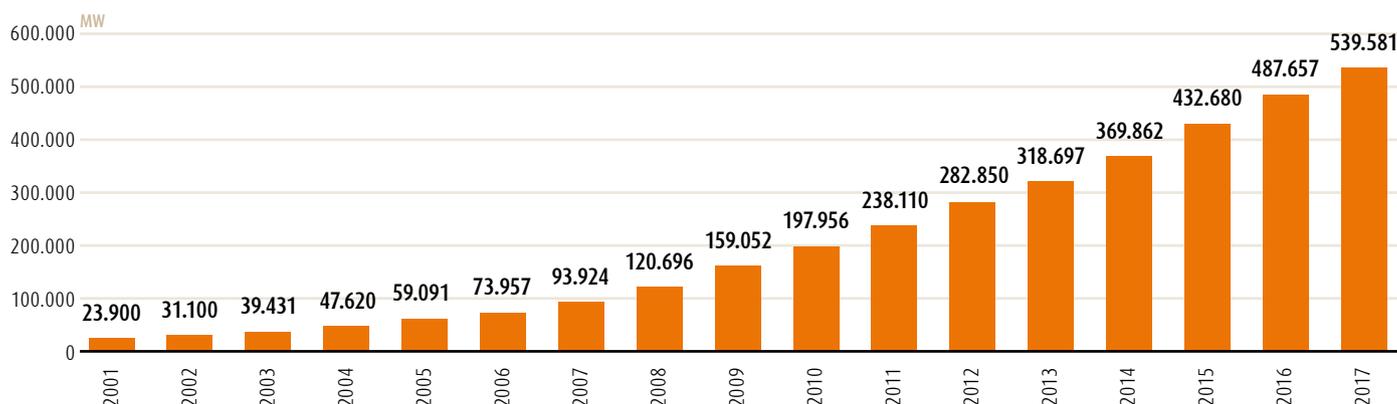
totalidade desse potencial está em terra, mas instalações no mar avançam rapidamente.

Mesmo crescendo em ritmo acelerado, a energia eólica representou somente 4% da energia gerada no mundo em 2016 (Figura 4).

Os primeiros inventários de energia eólica no Brasil foram feitos pela Eletrobras e publicados em 1979/1980, constatando a existência de bons potenciais nas áreas costeiras e em áreas do interior. Em 2001 foi elaborado um novo

Atlas do potencial eólico brasileiro (Amarante, 2001), dessa vez com melhores recursos de medição, usando modernos métodos computacionais. Embora ainda precário à luz das técnicas atuais, aquele inventário já apontava para 143 GW de potencial eólico instalável no Brasil. Rapidamente, os avanços tecnológicos possibilitaram construir aerogeradores com 100 metros de altura, enquanto o Atlas Brasileiro havia sido feito com médias de 50 metros. Portanto, já se

Figura 4 | Evolução da potência eólica instalada no mundo (MW)



Fonte: GEWC (2018).

Os países pioneiros já retiraram os subsídios da energia solar, pois ela se consolidou e seus preços caíram muito.

podia assegurar que o potencial eólico seria bem superior aos 143 GW estimados originalmente.

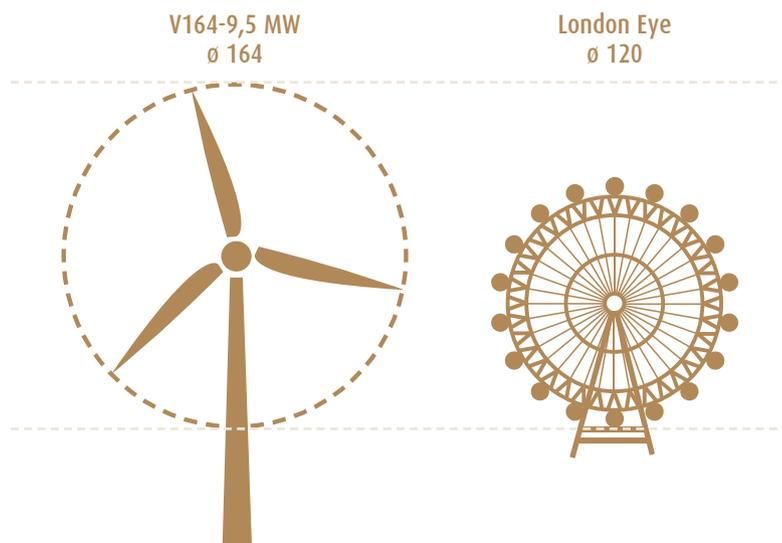
A participação da eólica em maior escala no Sistema Interligado Nacional (SIN) ainda enfrenta problemas operacionais, como intermitência, problemas de infraestrutura e restrições ambientais em áreas de proteção.

Adicionalmente aos parques construídos em terra (*onshore*), avança no mundo a construção no mar (*offshore*), sendo 18 GW a potência instalada, com aerogeradores de até 12MW cada um e rotor de pás com 220 metros de diâmetro. O maior aerogerador em operação no mundo tem rotor com um diâmetro quase duas vezes maior que o diâmetro da London Eye (Figura 5).

O Brasil ainda está iniciando o aproveitamento eólico *offshore*, mas já se sabe que é extraordinário o potencial dessa fonte no mar. Segundo estudo de Ortiz e Kampe (2011), ela pode variar entre 57 GW e 1.780 GW.

A experiência operacional brasileira com parques eólicos ainda é pequena (cinco anos), mas os resultados já alcançados indicam que o Brasil, especialmente o Nordeste, é o lugar onde os aerogeradores apresentam os melhores desempenhos operacionais no mundo. Adicionalmente, o Brasil tem uma ex-

Figura 5 | Aerogerador V164, com 9,5 MW



celente base de geração hidrelétrica, que é muito eficiente para regular um sistema elétrico que conte com forte presença de fontes intermitentes, como a eólica.

Ainda não sabemos quanta capacidade eólica poderemos inserir no SIN. A experiência acumulada e a complementaridade das fontes solar e eólica apontam para um futuro muito promissor. O balanço final apresentado pela EPE indica um potencial para instalação de aproximadamente 60 GW de eólicas em terra e 2.700 GW no mar brasileiro, um potencial muito superior ao da fonte hidrelétrica.

A MATRIZ RENOVÁVEL ENERGIA SOLAR

Aproximadamente a metade da energia proveniente do Sol que chega à Terra atinge a superfície, totalizando cerca de 885 milhões de TWh/ano, mais de 8.500 vezes o consumo final total de energia no mundo (IEA, 2011). Esses valores conferem à fonte solar, considerando seus múltiplos usos, o

maior potencial técnico de aproveitamento frente a outras fontes renováveis (IPCC, 2011).

Os estudos elaborados pela EPE para o PNE 2050 consideraram as aplicações derivadas de duas principais formas de capturar a energia do Sol, através do calor e do efeito fotovoltaico. Ambas permitem que essa energia seja usada para aquecimento e resfriamento de ambientes, aquecimento de água, geração fotovoltaica de eletricidade e geração heliotérmica.

A exploração dessa fonte, especialmente a aplicação fotovoltaica, cresceu 44% no mundo entre 2004 e 2016, atingindo 303 GW (REN 21, 2017), graças a generosos subsídios concedidos por países europeus. Na medida em que a tecnologia se espalhou, os países pioneiros retiraram os subsídios, pois ela havia se consolidado e os preços haviam caído muito, especialmente na Ásia. Somente em sistemas de aquecimento de água havia uma capacidade instalada de 456 GWh em 2016 (REN21, 2017).

A posição geográfica do Brasil propicia elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno. Aqui, a irradiação média varia de 4.000 a 6.200 kWh/m², o que torna o território brasileiro um dos mais promissores para o aproveitamento deste recurso. As irradiações no território brasileiro são superiores a 4.000Wh/m², e em grande parte dele superam 6.000Wh/m².

Os estudos elaborados pela EPE excluíram as áreas dos biomas da Amazônia e do Pantanal, as terras com declividade superior a 3% e com dimensões inferiores a 0,5km² e todas as áreas indígenas e quilombolas, além da Mata Atlântica com vegetação nativa, das áreas urbanas e dos rios. Adicionalmente, para atender outras restrições legais, a EPE reduziu em 20% a área do estudo. Como resultado, foi identificada uma área de 960.072km² aptos a implantar sistemas fotovoltaicos.

Considerando apenas as áreas antropizadas (cerca de 400.000km²) e com irradiação entre 6.000 e 6.200Wh/ano, a EPE estimou o potencial de geração de energia elétrica por fonte solar em 307GW no pico e 506TWh por ano. Como as áreas com irradiação inferior a essas também são muito propícias à implantação de plantas fotovoltaicas, o potencial acima é apenas um indicativo. Ele poderá ser até duas vezes maior. Mesmo com as restrições acima, o Brasil tem um potencial dez vezes maior que a potência instalada na Alemanha até 2014. Se comparado à capacidade de geração de todas as fontes já implantadas no Brasil (cer-

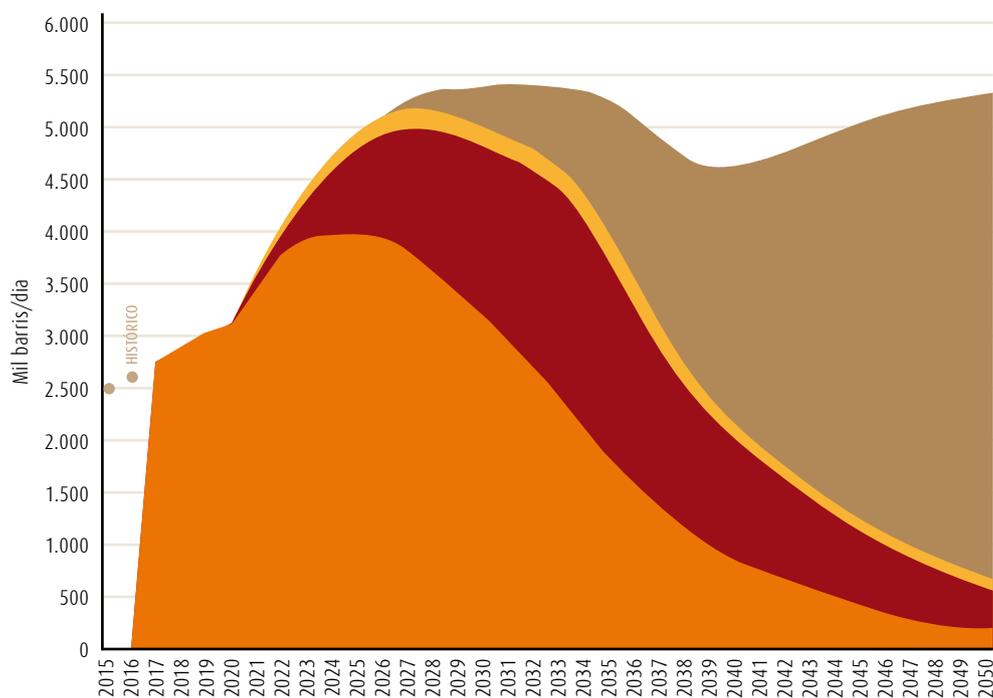
ca de 120GW), o potencial solar (*onshore*) representa três vezes mais.

Ainda não levamos em conta a possibilidade de geração distribuída, aquela em que o consumidor instala um gerador solar na própria residência ou nas proximidades dela. A Aneel regulamentou essa possibilidade através da Resolução 482/2012, denominando-a de geração distribuída. Até hoje, cerca de 40 mil micro e minigeradores já foram instalados no

Brasil, e a previsão é de que chegaremos a 1,2 milhão até 2024.

Estudos recentes, elaborados pela EPE/GIZ, demonstraram que as áreas disponíveis nas residências seriam suficientes para produzir energia, na forma distribuída, para suprir o equivalente a 2,3 vezes o consumo residencial do Brasil no horizonte do Plano 2050. Atualmente, a geração fotovoltaica distribuída supre apenas 0,45% da carga residencial do Brasil, esti-

Figura 6 | Projeções da produção diária de petróleo no Brasil



■ Recurso Descoberto
 ■ Recurso Contingente
 ■ Recurso Não Descoberto Contratado
 ■ Recurso Não Descoberto na área da União

Em milhares de barris por dia	2020	2030	2040	2050
Recurso Descoberto	3.108	3.223	920	263
Recurso Contingente	9	1.592	1.152	392
Recurso Não Descoberto Contratado	4	179	147	80
Recurso Não Descoberto na área da União	0	391	2.483	4.561
Total	3.121	5.385	4.702	5.296

Fonte: EPE.

mada em 134.000GWh/ano. Ou seja, para atender todo o consumo residencial precisaríamos instalar cerca de 80.000MW. Temos área para suprir o dobro disto. É fantástico o potencial de crescimento desta alternativa.

Recentemente, através do BNDES, o governo liberou uma linha de crédito de R\$ 2 bilhões, inclusive para pessoas físicas. Isto vai impulsionar sobremaneira a geração distribuída.

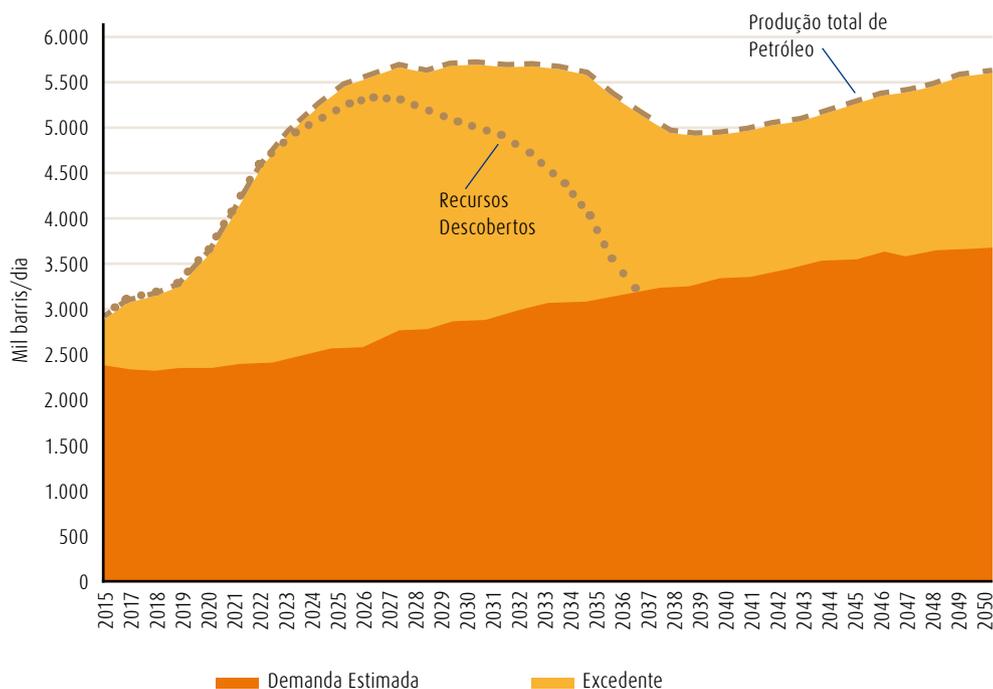
Não bastasse este enorme potencial em terra, na costa brasileira o potencial solar é espetacular. Os dados ainda são precários, mas a EPE estimou a possibilidade de instalar mais de 5.000GW de capacidade, com possibilidade de produzir 94.000TWh/ano de energia.

Outra aplicação para aproveitar a energia solar são as usinas heliotérmicas. Elas não são tão modulares quanto as fotovoltaicas e requerem a presença de infraestrutura, disponibilidade de terreno a custos aceitáveis e proximidade dos centros de carga, entre outros fatores. Usando como referência o trabalho de Burgi (2013), a EPE estimou que o potencial de construção de usinas heliotérmicas no Brasil pode variar de 90GW a 400GW, dependendo da tecnologia escolhida – cilindro parabólico ou torre solar.

MATRIZ NÃO RENOVÁVEL PETRÓLEO E GÁS NATURAL

Em breve o Brasil entrará no clube dos maiores produtores mundiais de petróleo. A expectativa da EPE é de que teremos mais petróleo do que precisaremos para o nosso consumo futuro, que deverá crescer mais de 50% em relação

Figura 7 | Estimativa de demanda e excedente de produção de petróleo convencional no Brasil até 2050



Em milhares de barris por dia	2020	2030	2040	2050
Demanda Estimada	2.240	2.750	3.190	3.550
Excedente	881	2.635	1.152	1.746
Total	3.121	5.385	4.702	5.296

Fonte: EPE.

ao consumo atual. Mesmo diante desta previsão confortável, não devemos buscar ampliar o nosso consumo, pois, como vimos, temos energia renovável suficiente para as necessidades brasileiras.

A Nota Técnica indica reservas mundiais provadas de 1,7 trilhão de barris, sendo 70% dos países da Opec. No Brasil, as reservas de petróleo provadas somaram cerca de 13 bilhões de barris, ou 0,7% das reservas mundiais. As nossas reservas de gás natural somaram 0,4 trilhão de m³, ou 0,2% das reservas mundiais.

Tendo como referência as descobertas e a produção de 2016, as

reservas brasileiras atenderiam à nossa produção de petróleo por quinze anos e à de gás por onze anos. Se forem consideradas as reservas prováveis, o Brasil teria reservas suficientes de petróleo para 27 anos e de produção de gás natural para 21 anos, nos níveis da demanda. Em 2050 a produção diária de petróleo deve atingir o dobro da atual, conforme mostra a Figura 6. Com este nível de produção o Brasil disporá de expressivo volume para exportação, como mostra a Figura 7.

Poderemos nos tornar também um grande produtor de gás natural, uma fonte bem-vinda do pon-

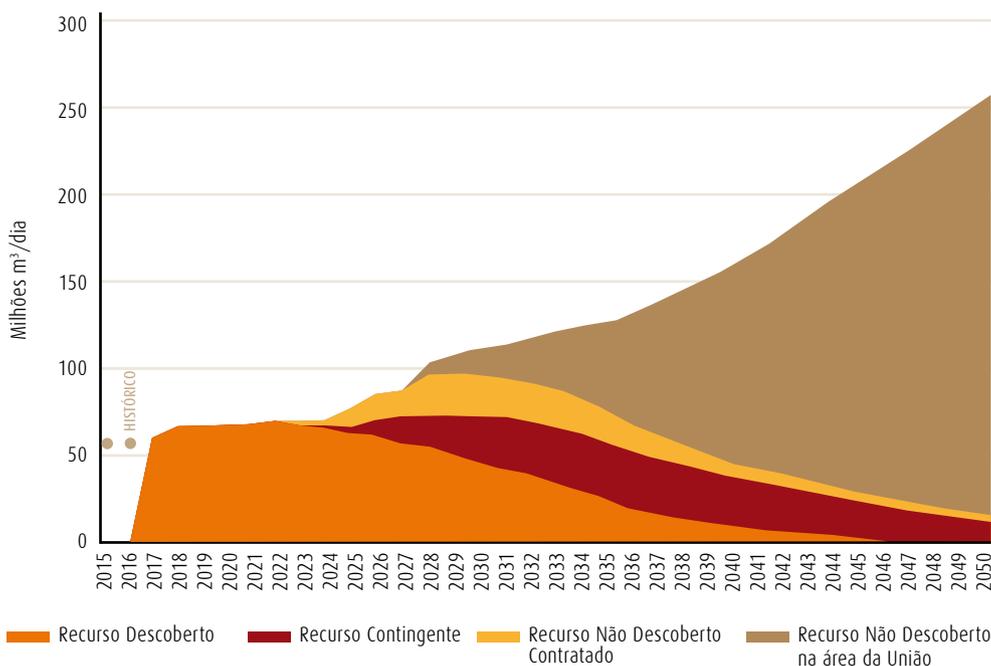
to de vista ambiental, quando comparada aos demais combustíveis fósseis. O desafio é ampliar a produção de gás dissociada da produção de petróleo, de modo a permitir estratégias independentes para seus usos, o que não acontece hoje. A EPE destaca: "Vale destacar as enormes áreas propensas a novas descobertas de acumulações de gás natural não associado, como nas bacias do Acre-Madre de Dios, Seal, Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná."

Os planos decenais deverão apontar os caminhos para desestimular o consumo de derivados de petróleo (óleos pesados, diesel, gasolina etc.), para que eles sejam cada vez mais substituídos por gás natural. No território brasileiro há grandes áreas com possibilidade de exploração de gás não associado ao petróleo.

Como mostra a Figura 8, se considerarmos os recursos ainda não descobertos a nossa produção de gás natural poderia ser até cinco vezes superior à atual. É importante que o país avance nesta direção. Se viermos a despachar usinas de geração de eletricidade a gás na base, ou seja, 24 horas por dia, isso criaria um mercado robusto para o gás, permitindo eliminar as usinas térmicas movidas a óleo pesado ou a diesel.

Ao avaliar os recursos energéticos das fontes petróleo e gás, a EPE não incluiu a exploração das fontes chamadas não convencionais. Os Estados Unidos começaram a explorar esses recursos, a ponto de desequilibrar o mercado mundial, mas as autoridades brasileiras entendem que ainda é cedo para seguir este caminho, pois os riscos ambientais são altíssimos.

Figura 8 | Projeções da produção diária (potencial líquida) de gás natural potencial no Brasil até 2050



Em milhões de m³ por dia	2020	2030	2040	2050
Recurso Descoberto	68,1	47,6	11,3	2,2
Recurso Contingente	0,1	24,4	27,4	13,1
Recurso Não Descoberto Contratado	0,1	25,6	9,3	2,3
Recurso Não Descoberto na área da União	0	17,2	108,8	238,7
Total	68,3	114,8	156,8	256,3

Fonte: EPE.

Foi uma opção correta, que não impede um novo exame da questão se houver uma evolução tecnológica que justifique isso.

O Brasil tem abundância de petróleo e gás natural convencional. O grande desafio é como explorar estes recursos com o mínimo impacto ambiental. Em seu estudo, a EPE concluiu que, mesmo introduzindo as restrições socioambientais, a expectativa de produção e demanda de petróleo e derivados não será significativamente reduzida. Isto deve ser aprofundado nos debates para a elaboração do plano.

O Brasil deve desenvolver competências em todas as etapas da indústria nuclear, incluindo a fabricação dos equipamentos.

Segundo a EPE, os critérios socioambientais adotados incorporaram as diretrizes dos órgãos ambientais e da agência reguladora, além de descartarem áreas de alta sensibilidade ambiental. Foram excluídas as unidades de conservação, áreas de proteção ambiental e reserva de desenvolvimento sustentável, terras indígenas e ocupadas por remanescentes de quilombos, áreas urbanas e áreas de ocorrência marinha, como peixe-boi, toninha, a baleia-de-bryde.

Mesmo assim, a sociedade deve revisitar as diretrizes desses órgãos ambientais, em especial do Ibama, para unidades de conservação e suas zonas de amortecimento, terras indígenas e áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira.

MATRIZ NÃO RENOVÁVEL URÂNIO

O urânio é um energético muito importante para o mundo, a despeito dos riscos inerentes ao seu uso. Até hoje ocorreram poucos acidentes em instalações que usam o urânio como energético, mas as consequências, em cada caso, foram muito graves. Por isso, a incorporação da energia nuclear na matriz energética mundial causa polêmicas. O uso mais intensivo deste energético é a geração de energia elétrica. No mundo, existem atualmente cerca de 375.000MW (World Energy Outlook) produzidos por reatores nucleares em operação. Isto representa mais de três vezes a capacidade de geração de energia elétrica implantada no Brasil.

O debate que está colocado é quanto ao uso ou não desta fonte

para geração de energia elétrica no Brasil, um país que detém cerca de 5% das reservas mundiais de urânio e é o décimo quarto na produção mundial. Nas diretrizes estratégicas conjuntas dos ministérios do Meio Ambiente, de Minas e Energia, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, da Ciência, Tecnologia e Inovação e da Defesa, inseridas no Programa Nuclear Brasileiro, o Brasil deve se consolidar como importante fabricante de combustível nuclear, de modo a desenvolver competência em todas as etapas, desde a fabricação de equipamentos à produção de elementos combustíveis, através da Nuclebras. O plano defende um grande esforço para fortalecer a regulação deste setor no Brasil.

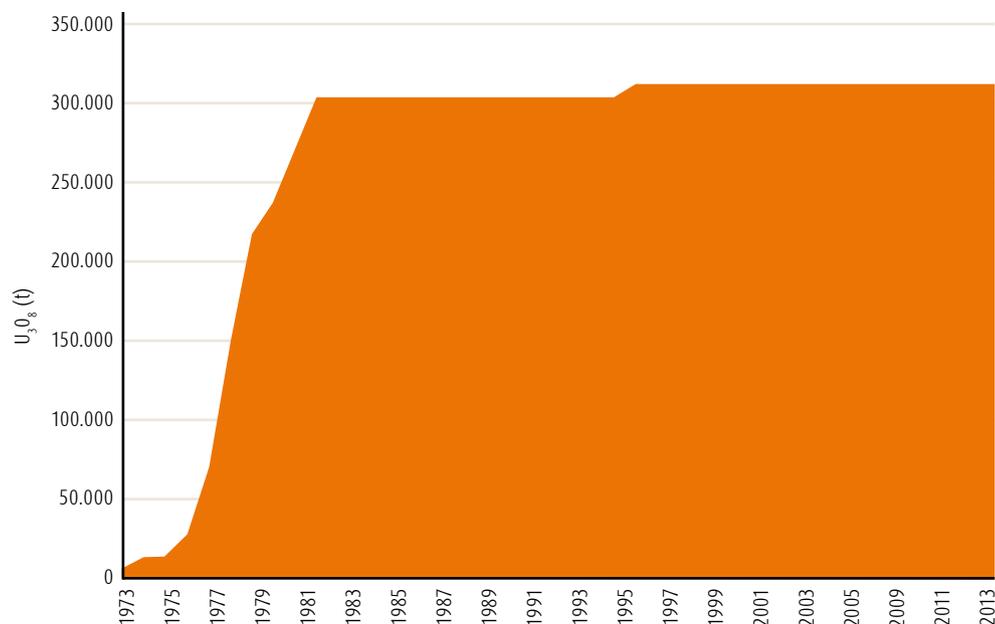
O Brasil está no seletivo grupo de países, que inclui Estados Unidos e Rússia, que domina todo o

ciclo do combustível e possui reservas para atender sua própria demanda. Nosso primeiro reator multipropósito deverá entrar em operação nos próximos meses, com capacidade de 30MW. O Ministério da Defesa aprovou a Estratégia Nacional de Defesa, que considera decisivos três setores – o cibernético, o espacial e o nuclear –, reafirma a necessidade estratégica de dominar a tecnologia nuclear e ratifica a adesão do Brasil ao Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares.

O urânio deve, pois, ser considerado em nossa matriz energética, para que possamos avançar nas áreas da agricultura, saúde, geração de energia e propulsão nuclear, entre outras.

Como mostra a Figura 9, o Brasil desenvolveu pesquisas em apenas 25% do seu território e iden-

Figura 9 | Evolução das reservas brasileiras de urânio (toneladas de U_3O_8)



Fonte: Elaboração própria, a partir de EPE (2015).

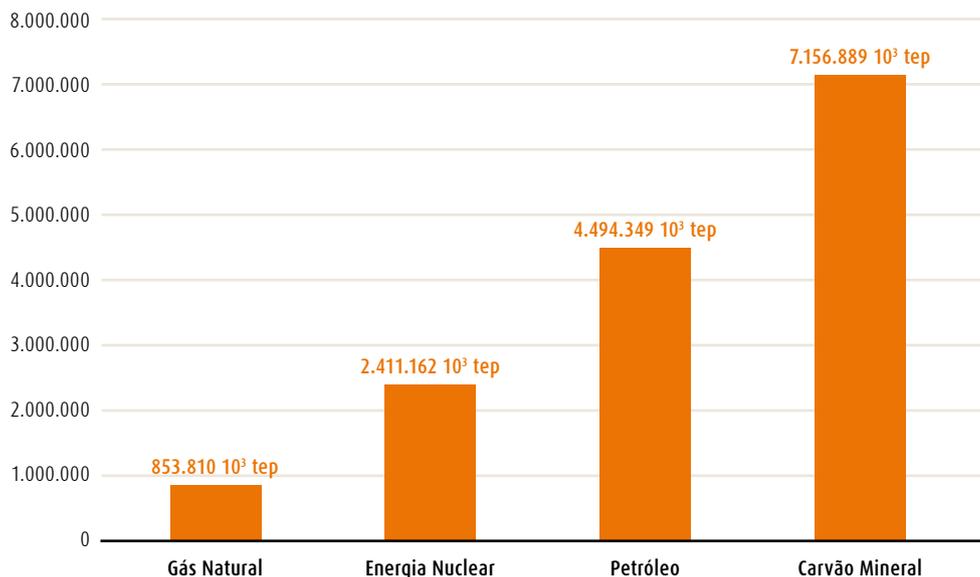
tificou reservas de 309 mil toneladas de urânio, equivalentes a 2,9 bilhões de Tep.

A Eletronuclear opera duas usinas nucleares, Angra I e II, e está construindo Angra III, que duplicará a nossa capacidade de gerar energia elétrica a partir de urânio. O Nordeste abriga as maiores reservas conhecidas do Brasil, e ali foram identificados pela Eletronuclear os melhores locais para implantar futuros projetos de geração de energia elétrica a partir de urânio. Este aspecto é relevante para o PNE 2050, pois a expansão do parque de geração nuclear no Nordeste seria mais um importante fator de desenvolvimento regional, em adição aos parques eólicos e solares. Para este novo plano, a EPE propõe a construção de mais nove usinas nucleares, cada uma com 1.000MW. Segundo a Eletronuclear, elas deveriam ser construídas no Nordeste.

Ao incluirmos a energia nuclear na matriz energética brasileira devemos considerar outros aspectos: custos, riscos, destinação dos rejeitos e regulação. A energia produzida por essas usinas tem baixos custos, quando comparada a outras fontes. Um quilo de urânio produz o equivalente a 20.000kg de carvão mineral. Os riscos e a destinação dos rejeitos estão sendo resolvidos com novas tecnologias já disponíveis. Atualmente, cerca de 30% do urânio processado no mundo já são reciclados.

A questão da regulação está em discussão no Congresso Nacional desde 2006, quando foi apresentado o relatório do Grupo de Trabalho de Fiscalização e Segurança Nuclear recomendando a criação

Figura 10 | Principais reservas energéticas brasileiras não renováveis (em milhares de toneladas equivalentes de petróleo).



CALCULADO SOBRE AS RESERVAS TOTAIS. PARA O CARVÃO MINERAL CONSIDEROU-SE UMA RECUPERAÇÃO DE 70% E UM PODER CALORÍFICO DE 3.900KCAL/KG. PARA O URÂNIO CONSIDERAM-SE PERDAS DE MINERAÇÃO E BENEFICIAMENTO. NÃO FOI CONSIDERADA A RECICLAGEM EM PLUTÔNIO OU O URÂNIO RESIDUAL.

Fonte: Ministério de Minas e Energia, EPE.

de comissão no âmbito da Presidência da República, que se encarregaria das funções normativas, licenciadoras e fiscalizadoras exercidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

MATRIZ NÃO RENOVÁVEL CARVÃO MINERAL

A despeito dos avanços tecnológicos alcançados até aqui, o mundo continua muito dependente do uso de combustíveis fósseis para gerar energia elétrica e realizar algumas atividades industriais. Mais de 40% da energia gerada tem como fonte o carvão mineral, uma das fontes mais poluidoras. Segundo publicação da OECD/IEA (2014), o mundo continuará com demanda crescente por carvão a taxas de 0,5% ao ano, considerada pequena, mas

que deveria estar decrescendo. O quadro já foi pior, com um crescimento de 2,5% ao ano nos últimos trinta anos. Por razões de natureza econômica, muitos países insistem em explorar intensivamente este recurso energético que provoca graves problemas ambientais. O setor elétrico responde por 74% das emissões de efeito estufa no mundo, principalmente pelo intenso uso de carvão mineral.

As reservas brasileiras de carvão mineral são equivalentes à soma das reservas de petróleo, gás natural e urânio. Esta grandiosidade sugere que o Brasil deve ter um olhar estratégico e cuidadoso. Os custos e os riscos ambientais impõem rigoroso controle sobre os usos desta fonte, reservando-a para setores onde ela não possa ser

substituída. Mesmo diante dessas restrições, o Brasil tem um parque gerador de 3,5GW (Aneel, 2015), localizado predominantemente na região Sul, onde estão as principais jazidas. Consumimos anualmente cerca de 10 milhões de toneladas de carvão. Dada a disponibilidade de outras fontes, pouco poluentes e renováveis, esse parque gerador poderia ter sido evitado. Ele surgiu mais por demandas políticas regionais, tendo em vista implantar uma cadeia produtiva a partir do carvão, do que propriamente por escolha do setor elétrico. Devemos aguardar novas tecnologias, mais limpas e competitivas, como a gaseificação, bem como a consolidação dos polos carboquímicos, para que a exploração do carvão seja feita em termos menos agressivos ao ambiente (Figura 10).

Mesmo com restrições ambientais, de custos de produção e da baixa qualidade do carvão nacional, entre outras, a EPE ainda inclui no horizonte do PNE a expectativa de construção de cerca de 46 usinas, cada uma com 500MW. Certamente, porém, quando da elaboração dos planos decenais, a construção destas usinas será adiada até que as condições restritivas citadas estejam adequadamente mitigadas.

Com ampla diversidade de fontes energéticas, o Brasil não deveria incluir em sua matriz energética oficial a possibilidade de usar carvão mineral, exceto onde a interrupção do seu uso provoque grandes impactos sociais. Por isto, o PNE 2050 deveria recomendar metas de eliminação do uso do carvão, principalmente nas usinas mais antigas, construídas para ge-

rar energia elétrica, pois o gás natural e a energia eólica (que conta com bons sítios na região Sul) o substituem de forma competitiva.

Conclusão

Como se viu, o Brasil é privilegiado no que diz respeito à disponibilidade interna de recursos energéticos. Não fossem restrições de natureza tecnológica, o país poderia atender a todas as suas necessidades com fontes renováveis. Por outro lado, a história mostra que o desenvolvimento econômico mundial se fez sem qualquer zelo pelos recursos naturais. Quando se inventou o motor a combustão, com petróleo facilmente disponível, o mundo inteiro correu em busca desse caminho, sem levar em conta que algum dia a poluição causaria sérios problemas ambientais.

Quando as pesquisas científicas começaram a demonstrar que os humanos estavam sobrecarregando a capacidade de a natureza se recompor e a temperatura do planeta estava alcançando níveis críticos, a sociedade foi tomando consciência de que algo precisaria ser feito para conter os usos abusivos e descontrolados dos recursos naturais. Várias iniciativas foram adotadas. Graças a elas, ainda poderemos corrigir os erros do passado. Os melhores exemplos são o uso, cada vez maior, da energia dos ventos, do Sol e da biomassa. Grandes mudanças já estão em curso para substituir o uso de veículos movidos a combustíveis fósseis por veículos elétricos, com energia de fontes alternativas e renováveis.

Os custos e os riscos ambientais impõem rigoroso controle sobre os usos do carvão mineral, reservando-o para atividades em que ele não possa ser substituído.

Até hoje, o homem buscou alternativas para produzir desenvolvimento econômico, independentemente do recurso energético que precisaria usar. A partir de agora, as estratégias de desenvolvimento deverão olhar para a matriz energética mundial e, a partir dela, orientar o desenvolvimento.

No Brasil, como vimos, as estratégias de desenvolvimento deveriam orientar a sociedade a usar fontes renováveis. No Nordeste, uma região com grande pobreza e extensas áreas quase desérticas, o semiárido poderia se transformar em grande gerador de energia. Ali estão os melhores ventos e a maior insolação do país, 3.000km de litoral para construção de usinas solares e eólicas *offshore*, as maiores reservas de urânio, 40 milhões de pessoas produzindo biomassa de lixo e áreas propícias para florestas energéticas.

Na década de 1960 se decidiu que o desenvolvimento do Nordeste brasileiro seria feito com industrialização. Hoje, o governo poderia orientar suas políticas para que o Nordeste seja o principal fornecedor de energia para o Brasil a partir de fontes renováveis. ■

A governança da QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Indústrias, modelos de negócios, profissões e instituições serão cada vez mais afetados por uma nova onda, em curso, de renovações tecnológicas. O mercado de trabalho e a atuação dos governos serão fortemente impactados pela convergência de inovações digitais, biológicas e físicas. Profissões tradicionais tendem a desaparecer, dando lugar a atividades novas. Ao lado de seus aspectos positivos, este processo também traz riscos para a coesão das sociedades, o que exige uma postura proativa de todos os agentes envolvidos.



Guido Bertucci

Ex-diretor do Programa das Nações Unidas de Administração Pública e Desenvolvimento, onde criou a Rede de Administração Pública das Nações Unidas, e diretor-executivo da organização Governance Solutions Internacional.

Tradução de Vera Ribeiro



Introdução

Estamos no meio de uma Quarta Revolução Industrial? Klaus Schwab, presidente do Fórum Econômico Mundial, escreveu extensamente sobre o assunto. Eis o que diz: “Estamos assistindo a mudanças profundas em todas as indústrias, marcadas pelo surgimento de novos modelos de negócios, pela instabilidade nos cargos e pela reformulação dos sistemas de produção, consumo, transporte e entrega. Na frente social, está em curso uma mudança de paradigma na maneira de trabalharmos e nos comunicarmos. Governos e instituições estão sendo igualmente reformulados, as-

sim como sistemas de ensino, saúde e transporte, entre muitos outros.”

É claro que essas mudanças e tendências estão ocorrendo. É irrelevante que usemos o rótulo de Quarta Revolução Industrial ou que as descrevamos como uma progressão natural da Terceira Revolução Industrial. A bem da brevidade e da coerência, tratarei delas, neste artigo, como “4RI”.

O importante é identificar os efeitos que elas têm na sociedade, nos negócios e na governança e tomar as decisões de políticas públicas necessárias para garantir que colhemos os efeitos positivos e minimizemos os negativos.

O diagrama abaixo, produzido pelo Fórum Econômico Mundial, tenta descrever a extensão das mudanças introduzidas pela 4RI.

As mudanças sem precedentes introduzidas pela 4RI consistem no fato de estarmos assistindo não apenas a mudanças tecnológicas, mas também a mudanças sistêmicas e a uma interseção e interdependência de diferentes tecnologias (Schwab, 2016).

Impelida pela convergência de inovações digitais, biológicas e físicas, a 4RI afeta os modelos de negócios, modifica os padrões de produção e consumo, altera a maneira como os indivíduos interagem entre si e com os governos. Assim, pro-

duz uma profunda transformação da sociedade (Schwab, 2016).

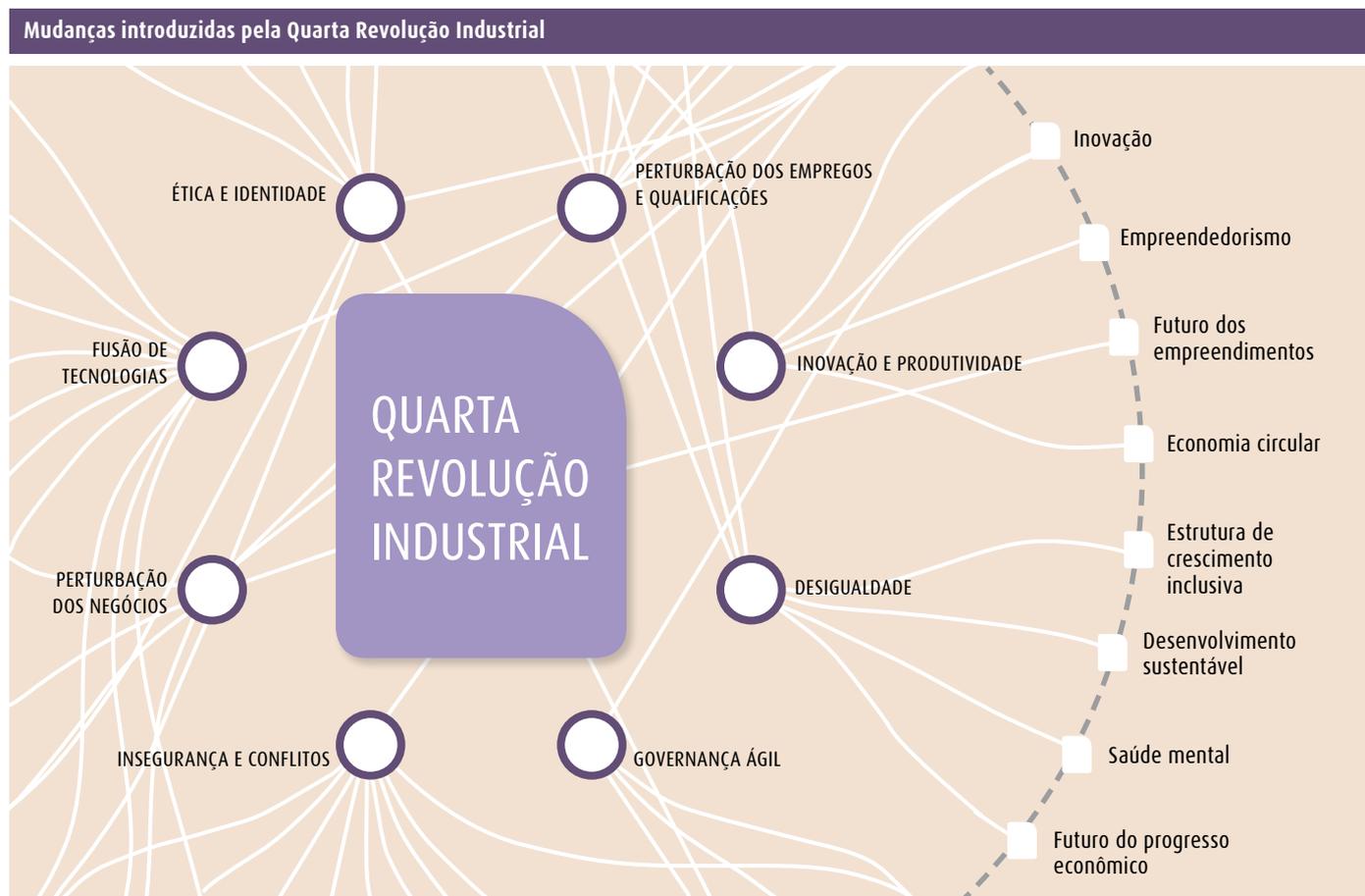
Temos visto que tecnologias como a computação quântica, a internet das coisas, a impressão em 3D, o *big data*, as cadeias de blocos de dados [*blockchains*], a aprendizagem das máquinas e a economia sob demanda vêm obtendo um progresso exponencial, perturbando indústrias, negócios, profissões e instituições (Klugman, 2018).

A 4RI também tem causado rupturas dos modelos políticos, sociais e econômicos, criando um “sistema distribuído de poder”. Ele exigirá que as partes interessadas interajam de maneira mais integrada e colaborativa (Schwab, 2016).

As modalidades de funcionamento dos governos, seu papel e seus modos de interagir com os cidadãos serão seriamente desafiados pelos avanços da 4RI.

Dado o ritmo acelerado das mudanças, é difícil projetar plenamente quais serão as consequências positivas da 4RI. Muitos analistas preveem que ela aumentará a competitividade e criará uma economia aberta, flexível e fundamentada nas qualificações (Lye, 2017), além de aprimorar a eficiência.

Ela também tem potencial para aumentar o nível de renda e melhorar a vida das pessoas. Os consumidores terão acesso cada vez



maior a produtos e serviços novos e mais baratos (Schwab, 2016).

As novas tecnologias têm acelerado o desenvolvimento do ensino, melhorado o acesso à informação e dado voz aos cidadãos. Setores como medicina, saúde, transportes, produção de energia e proteção ambiental serão positivamente afetados.

Mas os analistas também identificam que a 4RI pode produzir consequências negativas muito graves. Espera-se que o mercado de trabalho sofra os efeitos negativos mais fortes, com o desaparecimento de ocupações tradicionais e a difusão de ocupações que requeiram novas habilidades.

Um estudo feito recentemente pela McKinsey & Company imagina que as tecnologias existentes já podem substituir metade do tempo gasto pelos trabalhadores em suas atividades profissionais. Esse fenômeno tem criado uma classe de trabalhadores sem direitos, o que já interfere no resultado eleitoral em vários países.

Embora as novas tecnologias aprimorem o acesso à informação, elas também podem minar a nossa privacidade, pois o acesso aos dados fica mais facilmente disponível para empresas, governos e até outros indivíduos.

E, como o acesso à tecnologia é essencial para que se colham os benefícios da 4RI, aqueles que dispõem de acesso limitado à Internet e os que possuem conhecimentos e habilidades obsoletos ficarão impossibilitados de se beneficiar dos avanços. As desigualdades econômicas, sociais e de poder podem aumentar, tanto dentro dos países quanto entre eles.

Também aumentará o perigo do uso de tecnologias avançadas para fins nocivos, como produção de armas, crimes cibernéticos, discursos de ódio, disseminação de notícias falsas [*fake news*] e comportamentos similares.

Considerando a velocidade e o alcance dessas mudanças, a maioria dos especialistas defende com vigor uma abordagem proativa por parte de todos os agentes afetados – governos, empresas e a sociedade civil: “Temos que vencer esta corrida entre o poder crescente da tecnologia e o saber crescente com que a administramos. Não convém aprender com os erros” (Max Tegmark, *Life 3.0*).

Nas seções seguintes, analisarei como as empresas, a sociedade civil e os governos vêm sendo afetados pela 4RI, com ênfase particular na governança. Também examinarei brevemente as consequências para os sistemas globais de governança.

Empresas

Os avanços tecnológicos vêm causando uma perturbação que aumenta exponencialmente nas indústrias existentes. Além disso, têm aumentado a concorrência, ao fornecerem plataformas digitais para desenvolver, comercializar e distribuir produtos (Schwab, 2016). Novos serviços são constantemente desenvolvidos e oferecidos aos consumidores.

O professor Schwab resumiu os quatro efeitos principais da 4RI no mundo empresarial, destacando os que incidem sobre as expectativas dos consumidores, sobre a melhora dos produtos, sobre as inovações colaborativas e sobre as formas organizacionais.

Para se manterem relevantes e lucrativas, as empresas precisam se reinventar constantemente, de modo a se tornarem mais flexíveis e abertas à inovação.

Muda o lado da oferta (das empresas), mas testemunhamos também mudanças no lado da demanda, com o surgimento de novas plataformas que combinam demanda e oferta, em especial com a tecnologia dos smartphones (Rao, Srinagesh e Sreedhar, 2017).

O despontar de uma nova concorrência, inovadora e ágil, força as empresas a se tornarem mais flexíveis e a se reinventarem constantemente, para se manterem relevantes e lucrativas. Os elos entre a ciência e os negócios precisam ser fortalecidos, na medida em que crescem as aplicações comerciais da inteligência artificial e da robótica.

O efeito mais perturbador da 4RI nas empresas e na sociedade em geral, como já mencionei, é a transformação do mercado de trabalho, pois novas qualificações se tornam necessárias e outras ficarão obsoletas. De acordo com Marc R. Benioff, presidente e executivo-chefe da Salesforce, só nos

A confiança popular nas instituições tende a decair, abrindo espaços para um populismo hostil aos governos em alguns países. Os cidadãos vão interagir mais com os governos, exigindo serviços melhores e mais rápidos.

Estados Unidos existem mais de 500 mil vagas para empregos em tecnologia, mas apenas 50 mil alunos de ciências se formam por ano nas universidades. Milhões de postos de trabalho precisam ser preenchidos em informática, matemática e engenharia. Ao mesmo tempo, segundo o Fórum Econômico Mundial, os cargos administrativos e burocráticos sofrerão uma redução drástica. Algumas áreas geográficas vão sofrer declínio e perturbações econômicas e sociais, com o desaparecimento de empregos.

As empresas precisam preparar de modo proativo uma nova força de trabalho, como destacou um relatório conjunto da Deloitte e da Global Business Coalition for Education [Coalizão Global de Empresas pela Educação], intitulado “Preparando a força de tra-

balho do futuro para a Quarta Revolução Industrial”. Segundo esse relatório, “a empresa deve assumir um papel mais proativo na preparação dos jovens de hoje, para garantir que eles estejam prontos para ser a força de trabalho de amanhã”. O relatório recomenda que as empresas, entre outras coisas, “engajem-se estrategicamente na política pública, desenvolvam estratégias promissoras em relação ao talento e invistam na formação da força de trabalho”.

Os líderes empresariais devem ser estimulados a se aliar às instituições de ensino, inclusive fornecendo assistência financeira a programas de educação e treinamento necessários à força de trabalho do futuro.

Sociedade civil

Como vimos, a 4RI provocará transformações na força de trabalho, com efeitos negativos na coesão social e declínio na confiança popular, abrindo espaços para um populismo antigovernamental em alguns países (Klugman, 2018). Os governos, em cooperação com o setor privado, serão responsáveis por reconstruir a fé e a confiança por meio de políticas apropriadas, tendo em vista diminuir esses efeitos disruptivos.

Acostumados a colher os benefícios das novas tecnologias quando recebem serviços das empresas, os cidadãos exigirão dos governos, cada vez mais, serviços melhores e mais rápidos.

No lado positivo, as novas tecnologias proporcionam aos cidadãos melhores oportunidades para interagir com o governo, ex-

pressar suas opiniões e se engajar no desenvolvimento e na implantação de políticas públicas.

Governos

O advento da 4RI cria enormes desafios para os governos e para os sistemas e instituições de governança. A resposta dos governos determinará se países e sociedades ficarão aptos a colher os benefícios dela e a minimizar seus efeitos negativos.

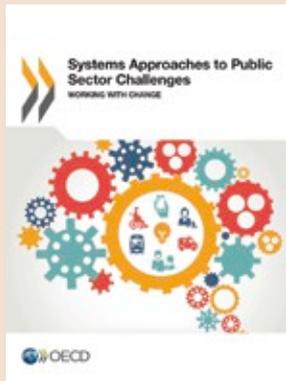
Nas seções seguintes, tentarei esboçar os possíveis cursos de ação dos governos em termos gerais e em algumas áreas específicas, tais como desenvolvimento de políticas públicas, sistemas de governança, legislação e regulamentação, segurança cibernética, tributação, desenvolvimento de recursos humanos, fornecimento de serviços públicos e engajamento dos cidadãos, *big data* e implicações para a governança global.

Desenvolvimento de políticas públicas

O ritmo das mudanças tecnológicas, digitais e sociais tem sido tão acelerado que os governos têm dificuldade de tomar decisões em políticas públicas e implementar normas para acompanhar essas mudanças. Os atuais sistemas decisórios, que cresceram no contexto da Segunda Revolução Industrial, envolvem processos e etapas extensos (Schwab, 2016).

O ritmo e a complexidade da 4RI exigem que os governos adotem uma abordagem sistêmica dos problemas, e não uma abordagem paulatina, como foi sugerido pela

Táticas sistêmicas para os desafios do setor público



Abordagens sistêmicas dos desafios do setor público. Trabalhando com a mudança

**PESSOAS**

Combinação de conjuntos diversificados de pessoas: “Se você conhece todas as pessoas da sala, vai fracassar.”

**LUGAR**

Criar um espaço neutro para deliberar e tomar distância do sistema cotidiano

**CONSIDERAÇÃO**

Criar o tempo e as condições para refletir e deliberar sobre o objetivo final

**CONEXÃO**

Estabelecer a conexão com todas as partes interessadas, a fim de dar subsídios ao processo e formar coalizões de defesa

**ENQUADRAMENTO**

Enquadrar o problema com base no resultado/objetivo (valor público), não nas estruturas sistêmicas existentes

**CONCEPÇÃO**

Com base na análise anterior, conceber soluções que possam surtir efeitos sistêmicos

**EXPERIMENTAÇÃO**

Reduzir a incerteza, fazendo experimentos em menor escala, com soluções diferentes e planos de ação claros

**CRIAÇÃO DE PROTÓTIPOS**

Criar um protótipo em escala que possa ser testado por diferentes populações

**SUPERINTENDÊNCIA**

Guiar e respaldar o processo mediante a criação de recursos e de apoio político para as mudanças

**MEDIÇÃO SIGNIFICATIVA**

Medir os efeitos com base nos resultados que se deseja alcançar, não em substitutos

Fonte: OCDE

OCDE e pela Cúpula Mundial de Governo no relatório de 2018, intitulado “Abraçando a inovação no governo”. Segundo esse relatório, as abordagens sistêmicas “são um conjunto de processos, métodos e práticas desenhados para afetar a mudança dos sistemas (...), indo além da lógica linear do insumo–produto”. Em suma, os governos precisam desenvolver uma resposta abrangente para os problemas interligados trazidos pela 4RI.

Os governos também precisam fortalecer sua capacidade de diagnosticar problemas, fazer previsões

e construir cenários alternativos. Segundo David Lye, diretor da Sami Consulting, eles precisam tornar-se “peritos em futuro”.

Alguns órgãos governamentais desenvolveram instrumentos sofisticados de diagnóstico e previsão, com base em programas de computador. O uso da inteligência artificial como ferramenta para a tomada de decisões também pode ser explorado. Infelizmente, os políticos da maioria dos países propõem soluções baseadas na ideologia, e não nesses instrumentos de diagnóstico.

Precisamos de uma nova era de governos ágeis, com capacidade de adaptação contínua ao ritmo acelerado das mudanças (Schwab, 2016). De acordo com Kris Broekaert e Victoria A. Espinel, governos ágeis formulam políticas públicas de modo adaptativo, concentrados em atingir as metas das políticas, receptivos a novas informações e dados e abertos aos insumos provenientes de um grupo mais amplo de partes interessadas.

Os governos precisam se preparar, em vez de reagir, e criar os mecanismos para administrar a

transição. Tradicionalmente, a inovação vem de fora do governo (Jarrar, 2016). É essencial que os órgãos públicos sejam fortalecidos, para que promovam a inovação dentro dos governos. Devem tornar-se motores da inovação, em vez de agentes reativos.

Além disso, os governos devem tornar-se facilitadores da inovação nos negócios e na sociedade, a fim de prosperar. Um relatório intitulado “Gov2020”, preparado pela Deloitte para a Cúpula Mundial de Governo de 2015, identificou várias tendências com potencial para produzir reformas, levando em conta a 4RI. Os governos vêm-se tornando facilitadores, em vez de fornecedores de soluções. Assim, constroem plataformas para parcerias entre agentes diversos. O relatório também destaca o fato de que as funções governamentais têm sido cada vez mais criadas em parceria com os cidadãos. Através da tecnologia e da colaboração compartilhada [crowdsourcing], têm-se desenvolvido sistemas de “governança distribuída”. Além disso, o relatório enfatiza o que mencionei antes: os governos devem ser “peritos em dados”, usando a criação de modelos e a análise de dados para fins de prevenção, e não de reação.

Os sistemas distribuídos envolvem uma descentralização maior das responsabilidades de governos centrais para governos regionais e locais, bem como a inclusão de múltiplos agentes no processo decisório. Dado que as empresas, a sociedade civil e o governo são responsáveis por pro-

duzir inovações, todos também devem colaborar para conceber as medidas necessárias para encontrar as respostas mais apropriadas aos efeitos da 4RI (Yun, 2018). A governança distribuída também contribuirá muito para reconquistar a confiança no governo, que tem declinado nos últimos tempos.

O poder da tecnologia tornará o governo, forçosamente, mais transparente e mais passível de responsabilização, pois as informações sobre as operações governamentais estarão mais disponíveis e acessíveis, sendo largamente disseminadas. Em casos extremos, veremos o crescimento de fenômenos como o Wikileaks.

Em termos de conteúdo, a empresa Access Partnership identifica três áreas principais a serem abordadas pelos governos: promover a infraestrutura, criar o incentivo certo para a adoção de inovações e para maiores inovações, e aprimorar a força de trabalho.

Em seu relatório intitulado “Expondo a Quarta Revolução Industrial: o papel do governo”, a empresa estende-se mais sobre as três áreas fundamentais mencionadas acima. No tocante à infraestrutura para participar da 4RI, o texto recomenda que os governos invistam recursos de forma estratégica, para dar respaldo às infraestruturas da internet; que promovam uma internet interoperável e tornem acessível o custo da internet de alta velocidade. Com respeito à criação de incentivos para que se adotem e promovam inovações, os governos devem estimular a parti-

cipação no mercado global da “hipernuvem”; apoiar os padrões globais de computação em nuvem e apoiar a economia movida por dados e prestação de serviços; implementar leis modernas sobre privacidade e criar estruturas jurídicas sensíveis. Por último, com respeito à tarefa de promover uma força de trabalho para os empregos do século XXI, o governo deve aspirar a criar uma força de trabalho flexível, dotada de pensamento crítico e capacidade de resolução de problemas; integrar habilidades digitais no ensino bá-

Precisaremos adaptar os sistemas de governança a uma realidade nova, tornando-os mais flexíveis e menos fragmentados, com mecanismos mais fortes de coordenação. As legislações precisarão ser modernizadas.

sico; apoiar o ensino da informática e retrainar os trabalhadores para uma aprendizagem permanente, pela vida afora.

Para implementar essas medidas será preciso dar passos largos para reduzir a defasagem na conectividade. Essa é uma área em que muitos governos estão atrasados.

Para promover a inovação e acelerar os avanços tecnológicos, os governos devem melhorar os fluxos de capital e promover o crescimento e desenvolvimento das PMEs.

Sistemas de governança

Como vimos, o advento da 4RI exigirá modificar os atuais processos de formulação de políticas públicas, a fim de torná-los mais rápidos, mais ágeis e mais receptivos. Além disso, o uso de informações e dados, em especial de *big data*, deve respaldar o processo decisório. Por fim, deve ser fortalecida a participação do governo, das empresas privadas, da sociedade civil e, quando apropriado, de organizações internacionais na elaboração de soluções políticas.

Além de alterar os processos de formulação de políticas públicas, será essencial adaptar os sistemas e processos de governança à nova realidade.

Os sistemas atuais são, ao mesmo tempo, rígidos e fragmentados, com órgãos que amiúde funcionam em compartimentos fechados, dificultando o desenvolvimento e a implantação de políticas abrangentes.

Para enfrentar adequadamente os desafios da 4RI, convém estabelecer mecanismos mais fortes de coordenação, que permitam respostas abrangentes. Outra



A nova revolução industrial provocará mudanças também nas políticas educacionais. Precisaremos formar pessoas mais bem adaptadas ao novo mercado de trabalho e dotadas de forte espírito de liderança.

opção seria criar novas instituições responsáveis por administrar a tecnologia. Elas precisariam ser de base multiparticipativa, a fim de incorporar os estímulos provenientes das empresas e da sociedade civil.

Alguns governos optaram por criar uma organização governamental dedicada, responsável por formular planos estratégicos e manejar mudanças. Por exemplo, o governo dos Emirados Árabes Unidos (EAU) criou o Ministério de Gestão do Futuro e da Mudança, um órgão independente e apartidário que prepara a agenda e desenvolve planos estratégicos; apoia o desenvolvimento e a regulamentação de políticas públicas; administra e implanta as mudanças; e monitora o progresso. Em 2017,

esse ministério publicou um relatório intitulado “A estratégia dos EAU na Quarta Revolução Industrial”, concebido para fornecer um arcabouço prático aos formuladores de políticas públicas e apoiar os esforços nacionais na adoção de tecnologias avançadas, bem como na transformação dos desafios do futuro em oportunidades.

Como mencionamos, os sistemas de governança precisariam ser mais descentralizados, confiando-se responsabilidades adicionais a regiões e cidades. Ao mesmo tempo, caberia tomar medidas apropriadas para lhes dar apoio, a fim de habilitá-los a funcionar cada vez mais como centros de inovação (Schwab, 2016).

Legislação e regulamentação

Dado o ritmo acelerado da 4RI, a legislação e a regulamentação mal se mostram aptas a acompanhar essa marcha.

É essencial que os avanços tecnológicos sejam regulamentados sem demora, para que produzam seus efeitos positivos e minimizem os negativos. Por conseguinte, os agentes reguladores têm menos tempo para avaliar o impacto das novidades e tomar as decisões apropriadas. Novos mecanismos e processos para aprovar leis e expedir normas devem ser desenvolvidos. A coordenação entre os órgãos reguladores também deve ser reforçada, pois a 4RI afeta simultaneamente muitos campos tecnológicos e sociais.

Ao mesmo tempo em que protege a sociedade e os consumidores, a estrutura reguladora deve

criar um ambiente facilitador, para que as inovações prosperem (Schwab, 2016).

Tradicionalmente, os governos são os principais criadores de normas, mas assistimos ao surgimento de novas fontes de autoridade para governar as novas tecnologias. O empresariado e a indústria podem apresentar soluções inovadoras sobre a regulamentação, bem como estabelecer normas de autorregulação. Com o surgimento de órgãos autorreguladores, os governos poderiam atuar como super-reguladores, autorizando e avaliando o trabalho desses órgãos (Broekaert e Espinel, 2018).

Em vez de regulamentos, o uso das melhores práticas pode lidar de maneira mais ágil com novos avanços rápidos e amplos. Por exemplo, o Instituto Nacional de Normas e Tecnologia dos Estados Unidos, com a contribuição do setor privado, dos órgãos de governo e de comunidades voltadas para o sigilo e a segurança, estabeleceu as melhores práticas para a segurança cibernética, em vez de criar novas normas.

No tocante aos conteúdos, os novos regimes de propriedade intelectual devem ser regulamentados. Protocolos e padrões éticos de segurança cibernética precisam ser adotados.

Segurança cibernética

Na medida em que a tecnologia torna-se largamente acessível, aumenta a possibilidade de que seja usada para fins nocivos. Para se protegerem de crimes cibernéticos, que vão da invasão e roubo de bancos de dados, inclusive elei-

torais, aos ataques cibernéticos a instalações de energia, saúde e transportes, ao terrorismo cibernético etc., os governos terão de arcar com custos muito elevados (Shava e Hofisi, 2018).

A União Internacional de Telecomunicações (UIT) recomenda uma abordagem de cinco componentes para reforçar a segurança cibernética, incluindo legislação e regulamentação, medidas técnicas, arranjos organizacionais, capacitação e cooperação entre Estados.

Assim como a UIT, vários especialistas recomendam a criação

de um órgão responsável pela coordenação dos esforços nessa área.

O *United Nations e-Government Survey 2018* [Levantamento das Nações Unidas sobre Governo Eletrônico, 2018] recomenda que os países criem uma equipe de resposta a emergências computacionais (CERT) ou uma equipe de resposta a incidentes de segurança computacionais (CSIRT), para reagir a situações que afetem os computadores ou a segurança cibernética. Destaca também que, afora a Europa e a Ásia, os países estão muito atrasados nesse esforço.

Tributação

As mudanças nos padrões econômicos têm criado sérios desafios para a coleta de impostos. Sistemas de pagamento digitais e descentralizados limitam a capacidade das autoridades fiscais de se manterem atualizadas no tocante às transações (Schwab, 2016).

É preciso desenvolver novas modalidades de tributação de novos tipos de negócios e transações financeiras. Por exemplo, a Estônia é o primeiro país a recolher impostos de transação por meio

Os cinco componentes da segurança cibernética

JURÍDICO

Legislação sobre crimes cibernéticos, lei substantiva, direito processual de crimes cibernéticos, regulamentação da segurança cibernética



TÉCNICO

CERT nacional, CERT governamental, CERT setorial, normas para organizações, agência de padronização



ORGANIZACIONAL

Estratégia, órgão responsável, medição da segurança cibernética



CAPACITAÇÃO

Conscientização da população, formação profissional, programas nacionais de educação, programas de P&D, mecanismos de incentivo, indústria nacional



COOPERAÇÃO

Cooperação intraestatal, acordos multilaterais, foros internacionais, parcerias público-privadas, parcerias entre agências



de uma cadeia de blocos de dados [*blockchain*].

Jinhyo Joseph Yun recomenda que também a estrutura nacional de tributação seja reformulada, para redistribuir a renda e o capital que estão concentrados nas grandes empresas. Recomenda ainda que, em vez de tributar o trabalho, que será negativamente afetado pela 4RI, tribute-se a produtividade.

Na mesma linha, Bill Gates propôs que os robôs sejam tributados, pois estarão substituindo seres humanos na cadeia produtiva.

Recursos humanos

Já mencionamos a estimativa de que a 4RI surta um efeito negativo no mercado de trabalho. Na medida em que aumentar a necessidade de criar uma nova força de trabalho, o governo precisará fazer investimentos pesados na reforma das políticas de ensino, a fim de garantir que elas gerem o conhecimento e as habilidades requeridos pelo novo mercado de trabalho. As empresas, juntamente com o governo, devem usar as previsões já realizadas para deter-

minar quais empregos tendem a ficar mais sujeitos à automação e quais estarão cada vez mais disponíveis. À luz dessas previsões, devem-se desenvolver políticas de ensino e formação adequadas às mudanças previstas.

Além de uma nova força de trabalho, serão necessários novos líderes para dirigir pessoas que não estarão sentadas em escritórios, mas ligadas por meios virtuais (Artley, 2018). Como escreveu o professor Schwab, “precisamos de líderes dotados de inteligência emocional, capazes



de moldar e defender o trabalho cooperativo”.

A falta de qualificação da força de trabalho prejudica o crescimento econômico e tende a gerar desemprego no setor privado, mas a mão de obra do governo também será negativamente afetada. Como vimos, os empregos burocráticos e administrativos devem ser os mais propensos a se tornar obsoletos. Com o desenvolvimento adicional de “governos eletrônicos”, as organizações governamentais necessitarão de menos equipes administrativas. Em vez

delas, precisarão de pessoal com formação em computadores. Por isso, os governos devem embarcar com urgência em programas maciços de re-treinamento de seus funcionários.

No relatório “Gov2020”, a Deloitte propõe que o governo modifique suas práticas de contratação, aplicando o modelo de equipes de consultores à sua força de trabalho. Ele usaria empregados participantes de empreendimentos conjuntos, empregados de fornecedores, empreiteiros ou fornecedores individuais independentes e outras pessoas sem nenhum vínculo trabalhista com o governo, mas que fazem parte de uma valiosa cadeia de serviços.

Há, porém, um conjunto de habilidades que seriam muito solicitadas e não podem ser exercidas por máquinas. Trata-se da criatividade e inovação, liderança, inteligência emocional, adaptabilidade e resolução de problemas. De acordo com um levantamento feito pela OCDE, uma grande percentagem das organizações indicou que era difícil ou muito difícil recrutar pessoas dotadas dessas habilidades.

Prestação de serviços públicos e engajamento dos cidadãos

Os avanços da 4RI podem acelerar e aprimorar a prestação de serviços do governo aos cidadãos. Os governos também poderiam introduzir métodos usados por companhias privadas para fornecer serviços públicos de maneira mais eficiente, rápida e flexível (Klugman, 2018).

O *United Nations 2018 e-Government Survey* “destaca uma persistente tendência global positiva para níveis mais altos de desenvolvimento do e-governo (...). Os países vêm avançando para níveis mais altos de e-governo (...). O número de países que oferecem serviços online, usando e-mails, atualizações de notícias por SMS/RSS, aplicativos de telefones celulares e formulários que podem ser baixados da Internet, tem aumentado em todos os setores (...). A prestação de serviços através de aplicativos de celular cresce mais depressa nos setores de educação, emprego e meio ambiente.”

O relatório também assinala que surgiram parcerias público-privadas (PPPs) inovadoras, como modelos de prestação de serviços públicos e benefícios sociais em áreas como educação, saúde e sustentabilidade ambiental.

Conforme avança a tecnologia e as comunicações e informações migram para plataformas digitais, “os cidadãos modificam sua abordagem para interagir com órgãos e serviços de governo. Uma relação mais horizontal, espontânea e empoderadora vem-se desenvolvendo, em contraste com a relação hierárquica tradicional” (Jarrar, 2017).

Há uma oportunidade de engajar e dar poder aos cidadãos, fornecendo plataformas digitais para buscar a opinião deles; de envolvê-los na tomada de decisões; de conceber e prestar serviços; de aumentar o controle e a prestação de contas dos órgãos públicos.

Governos e empresas manejarão quantidades crescentes de dados, de maior número de fontes. Volume, variedade, velocidade e veracidade são os quatro conceitos que orientam esse trabalho.

A Organização das Nações Unidas mede o engajamento dos cidadãos nos assuntos públicos através de um Índice de Participação Eletrônica (IPE). Em seu relatório de 2018, ela observou que o número de países com um IPE altíssimo dobrou de 31 para 62 desde 2016, o que demonstra a velocidade com que as novas tecnologias podem alterar as relações entre governos e cidadãos.

Big data

Mencionamos há pouco como é crucial a disponibilidade de dados para as tomadas de decisão.

O volume de dados, que cresce exponencialmente, deu origem ao conceito de “*big data*”, definido pelos quatro “Vs”: volume, variedade de fontes, velocidade e veracidade (Jarrar, 2017). O desafio primário é ter capacidade para usar e gerenciar *big data*, tanto por parte das empresas quanto do governo.

Os dados tornaram-se uma fonte de riqueza, descrita por alguns como “o novo petróleo” ou como a “tábua de salvação da sociedade digital” (Jarrar, 2017). Hoje, a maioria dos dados pertence ao setor privado, mas os governos também produzem e armazenam uma quantidade considerável deles. Uma vez que os dados podem ser efetivamente monetizados, surge a questão de saber quem deve deter sua posse.

É necessária uma nova legislação para regulamentar a maneira de armazenar, gerenciar, compartilhar e proteger dados. Alguns especialistas recomendam a criação de uma “carta de da-

dos”. Os dados podem ser considerados um “bem social”, e por isso o governo é responsável por seu uso para produzir valor público. Por conseguinte, é possível que o governo precise adquirir uma nova competência, a de “curador de dados” (Jarrar, 2017).

Como os dados são essenciais para criar valor público, cada vez mais os governos os disponibilizam para a sociedade civil, as empresas e os indivíduos. Os chamados “dados abertos de governo” (DAG) ajudam a melhorar a prestação de serviços em áreas como saúde, educação, meio ambiente, bem-estar social etc. De acordo com a ONU, o número de países que possuem portais com dados abertos chegou a 139.

No intuito de promover o uso dos grandes dados de maneira segura e responsável, como um bem público, a ONU lançou uma iniciativa chamada Pulso Global, que pretende acelerar a descoberta, o desenvolvimento e a adoção em escala da inovação em *big data*, em prol do desenvolvimento sustentável e da ação humanitária.

Implicações para a governança mundial

O advento da 4RI vem tendo um impacto que ultrapassa muito as fronteiras nacionais, exigindo a preparação de novos acordos e, possivelmente, a criação de novos mecanismos de governança global. De acordo com o professor Schwab, “precisamos de uma visão abrangente e globalmente compartilhada de como a tecnologia afeta as vidas”. Um relatório preparado para a reunião do G20

de 2017, na Alemanha, destaca a falta de um “regime global de governança tecnológica”.

O mesmo relatório inclui várias recomendações: o G20 deve defender estruturas internacionais de governança tecnológica; deve identificar e promover salvaguardas essenciais, para garantir uma 4RI sustentável e minimizar consequências negativas não pretendidas; deve promover um esforço coordenado de governos e agentes reguladores para identificar e gerenciar os riscos sistêmicos provenientes da 4RI; e deve estimular os países a desenvolver políticas responsáveis de tecnologia, que incluam o uso de considerações sociais e ambientais nas estratégias digitais dos vários países.

Por último, convém ter em mente que o avanço das novas tecnologias também terá impacto na segurança internacional e afetará a natureza dos conflitos (Schwab, 2016). Por isso, será necessário estabelecer um novo mecanismo internacional de resolução de conflitos (Segal, 2017).

O Fórum Econômico Mundial é a organização internacional que tem sido mais atuante para destacar as rápidas transformações introduzidas pela 4RI e seus impactos. Para fomentar um “diálogo das múltiplas partes interessadas e sua cooperação concreta nos desafios e oportunidades apresentados pelas tecnologias avançadas”, o Fórum abriu um Centro da Quarta Revolução Industrial, localizado em San Francisco. A missão do Centro, que reúne governos, sociedade

civil, o mundo dos negócios, círculos acadêmicos e organizações internacionais, é “facilitar a concepção conjunta, a testagem e o aprimoramento de protocolos de governança e estruturas de políticas públicas, a fim de maximizar os benefícios sociais e minimizar os riscos da ciência e tecnologia avançadas”.

Conclusões

Será que a 4RI nos ajudará a melhorar nossos padrões de vida, nosso bem-estar e nosso meio ambiente? O potencial é enorme, mas os riscos também. As mudanças tecnológicas são tão rápidas que empresas e governos veem-se constantemente num jogo para “recuperar o atraso”. Para que não sejam superados pelos avanços, faz-se necessária uma abordagem proativa e antecipatória. Os governos, em cooperação com as empresas e a sociedade civil, precisam desenvolver estratégias abrangentes e de longo prazo, que incluam medidas políticas, regulatórias e estruturais. Será preciso conceber novos paradigmas de governança nacional, a fim de permitir uma tomada de decisões que seja rápida, ágil e participativa. Como os avanços científicos e tecnológicos surtem efeitos que ultrapassam as fronteiras nacionais, também será preciso reformular os arranjos de governança global para facilitar respostas globais, particularmente nas áreas de crimes cibernéticos e terrorismo cibernético. Pode o G20 constituir o fórum que vai liderar a ação global para enfrentar os desafios? ■

Referências bibliográficas

- Access Partnership, *Delivering the Fourth Industrial Revolution: the Role of Government*, 2017.
- ARTLEY, J., *How to be a leader in the Fourth Industrial Revolution*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2018.
- BENIOFF, Marc, *We must ensure the Fourth Industrial Revolution is a force for good*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2017.
- BROEKAERT, K., e V. Espinel, *How can policy keep pace with the Fourth Industrial Revolution?*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2018.
- COLEMAN, G., *The next industry revolution will not be televised*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2016.
- DELOITTE e Global Business Coalition for Education [Coalizão Global de Empresas em prol da Educação], *Preparing tomorrow's workforce for the Fourth Industrial Revolution*, Deloitte, 2017.
- DELOITTE, GOV2020: *A Journey into the Future of Government*, Cúpula Mundial de Governo, 2015.
- JARRAR, Yasar, *What is the role of government in the digital age?*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2017.
- KLUGMAN, Iain, *Why governments need to respond to the Fourth Industrial Revolution*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2018.
- LYE, David, *The Fourth Industrial Revolution and Challenges for Government*, Brink Global Risk Center, 2017.
- MAGYAR, J., *Will the fourth industrial revolution improve the state of the world?*, A Quarta Revolução Industrial, Fórum Econômico Mundial, Davos, 2016.
- OCDE e Cúpula Mundial de Governo, *Embracing Innovation in Government-Global Trends 2018*, Cúpula Mundial de Governo, Dubai, 2018.
- REIF, Rafael, *A survival guide to the Fourth Industrial Revolution*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2018.
- SEGAL, Arik, “Conflict Resolution in the Fourth Industrial Revolution”, *Open Mind*, 2017.
- SCHWAB, Klaus, *The Fourth Industrial Revolution*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2016.
- SCHWAB, Klaus, *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*, Fórum Econômico Mundial, Coligny/Genebra, 2016.
- SHAVA, E., e C. Hofisi, “Challenges and Opportunity for Public Administration in the Fourth Industrial Revolution”, *African Journal of Public Affairs*, 2018.
- SHUKLA, A., *Society, Governance and the Fourth Industrial Revolution*, Nova Déli: Ank Aha, 2017.
- RAO, V., M. Srinagesh e J. Sreedhar, “The Fourth Industrial Revolution: Impact of Government and Society on Business – A Comprehensive Study”, *International Journal on Research and Development - A Management Review*, vol. 6, I, Institute for Research and Development India.
- Emirados Árabes Unidos, Ministério de Assuntos de Gabinete e do Futuro, *UAE's Fourth Industrial Revolution Strategy*.
- Organização das Nações Unidas, *E-Government Survey 2018*, Nova York: United Nations, 2018.
- Vários colaboradores, *Enabling a Sustainable Fourth Industrial Revolution: How the G20 Countries can create the conditions for emerging technologies to benefit people and the planet*, Policy Brief in G20 Insights, 2017.
- Fórum Econômico Mundial, Report of the Annual Meeting: *Mastering the Fourth Industrial Revolution*, Davos-Kloster, janeiro de 2016.
- YUN, J. J. et al., *How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations between Technology, Market, and Society through Open Innovation*, Basileia: MDPI AG, 2018.

Boletim Conjuntura Brasil

A Fundação João Mangabeira apresenta boletim periódico com temas de relevância nacional para o desenvolvimento do país.

Leia, participe dos debates e dê sua contribuição ao Brasil.

Acesse a coleção pelo site ou envie o endereço de sua instituição para receber o impresso.



Acesse as publicações pelo QR Code ou pelo site:
www.fjmangabeira.com.br



Fundação
João Mangabeira

MIGUEL ARRAES

HERÓI DA PÁTRIA



MIGUEL ARRAES FOI INCLUÍDO NO LIVRO *HERÓIS E HEROÍNAS DA PÁTRIA*, POR SUA ATUAÇÃO EM PROL DO BRASIL.

