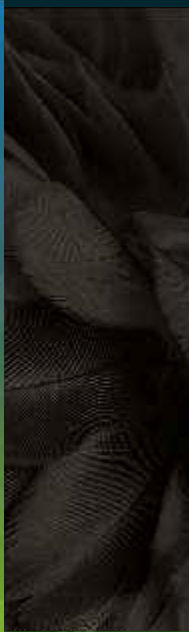


PROJETO DE CIÊNCIA PARA O

# BRASIL



*Projeto de Ciência para o Brasil* é resultado de um trabalho de quase dois anos, que envolveu mais de 180 cientistas. Atuando em diferentes grupos, eles produziram documentos analíticos e propositivos sobre a ciência e a inovação no Brasil. Este é um livro voltado para o futuro, que expõe o cenário atual da inovação tecnológica e das pesquisas em várias áreas do conhecimento, de forma acessível ao público leigo, motivando-o a um envolvimento maior com a ciência e a inovação. Ao mesmo tempo, propõe políticas públicas para que o país possa se beneficiar da fronteira do conhecimento, em benefício de sua população e de seu protagonismo internacional.

Com esta publicação, a ABC reafirma seu perfil de centro de pensamento sobre o Brasil, reunindo os melhores cientistas de todas as áreas para refletir sobre o país e debater e formular propostas de políticas públicas. Colabora, assim, para a construção de uma agenda positiva, necessidade urgente em um país que atravessa crise profunda e que carece de um projeto de Estado rumo a um desenvolvimento sustentável, nos âmbitos econômico, social e da natureza.

**Luiz Davidovich**





---

PROJETO DE CIÊNCIA PARA O

BRASIL



ACADEMIA  
BRASILEIRA  
DE CIÊNCIAS

MCMXVI



---

PROJETO DE CIÊNCIA PARA O

# BRASIL

---

COORDENADORES

JERSON LIMA SILVA  
JOSÉ GALIZIA TUNDISI

RIO DE JANEIRO  
2018



ACADEMIA  
BRASILEIRA  
DE CIÊNCIAS

MCMXVI

© Direitos autorais, 2018, de organização, da  
Academia Brasileira de Ciências  
Rua Anfilóbio de Carvalho, 29 - 3º Andar  
20030-060 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil

© Direitos de publicação reservados por  
Academia Brasileira de Ciências

**Diretoria da ABC**  
Triênio 2016-2019

**Presidente**  
Luiz Davidovich

**Vice-Presidente**  
João Fernando Gomes de Oliveira

**Vice-Presidentes Regionais**  
Região Norte: Roberto Dall’Agnol  
Região Nordeste: Cid Bartolomeu de Araújo  
Região Sul: João Batista Calixto  
Minas e Centro-Oeste: Mauro Martins Teixeira  
Rio de Janeiro: Lucia Mendonça Previato  
São Paulo: Oswaldo Luiz Alves

**Diretores**  
Elibio Leopoldo Rech Filho  
Francisco Rafael Martins Laurindo  
Hilário Alencar da Silva  
José Murilo de Carvalho  
Marcia Cristina Bernardes Barbosa

**Projeto de Ciência para o Brasil**

**Equipe Técnica da ABC**

**Coordenação Geral**  
Marcos Cortesao Barnsley Scheuenstuhl

**Coordenação Temática**  
Fernanda Wolter  
Fernando C. A. Verissimo  
Gabriella Mello  
Marcia Graça Melo  
Vitor Vieira de Oliveira Souza

**Apoio**  
Pedro Armando

**Edição de texto**  
Catarina Chagas  
(Instituto D’Or de Pesquisa e Ensino)

**Revisão e produção editorial**  
Catarina Chagas  
Vitor Vieira de Oliveira Souza

**Projeto gráfico e diagramação**  
ArtBio Brasil

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A168p Projeto de Ciência para o Brasil /  
Jerson Lima Silva, José Galizia Tundisi (coordenadores). –  
Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2018.

396 p.

ISBN: 978-85-85761-47-9

1. Ciência, Tecnologia e Inovação – Brasil. 2. Ciência e desenvolvimento. 3. Ciência para a sociedade I. Silva, Jerson Lima. II. Tundisi, José Galizia. III. Título.

CDD 001.42



---

apoio:



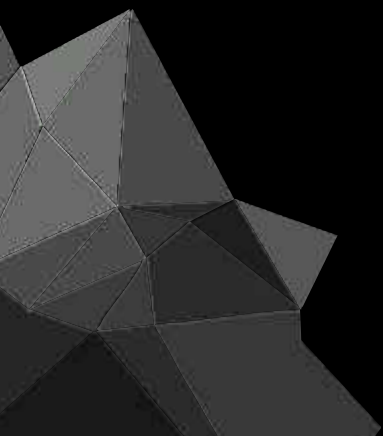
membros institucionais:



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

GOVERNO  
FEDERAL

PROJETO DE CIÊNCIA PARA O BRASIL



---

# UMA AGENDA POSITIVA PARA O BRASIL

**É** com muita alegria que apresentamos o *Projeto de Ciência para o Brasil*, um trabalho de quase dois anos que reuniu mais de 180 cientistas em grupos de estudo, preparando documentos analíticos e propositivos sobre a ciência e a inovação no Brasil. É um livro voltado para o futuro, por duas razões. Primeiro, expõe o cenário atual da inovação tecnológica e das pesquisas em várias áreas do conhecimento, de forma acessível ao público leigo, motivando-o a um envolvimento maior com a ciência e a inovação; além disso, propõe políticas públicas para que o Brasil possa se beneficiar da fronteira do conhecimento, em benefício de sua população e de seu protagonismo internacional. Deverá cumprir, também, o papel de ajudar a divulgar, junto à sociedade brasileira, o que é feito pela ciência nacional e quais os principais desafios para o futuro. Essa divulgação é essencial para que se possa realizar uma sólida mobilização em prol do desenvolvimento científico e tecnológico do país.

Esta publicação soma-se a outros documentos da Academia Brasileira de Ciências, que abarcam um extenso leque de temas, envolvendo a educação em vários níveis, a medicina translacional, doenças negligenciadas, recursos hídricos e minerais, exploração sustentável dos biomas nacionais, sustentabilidade global, integridade na pesquisa científica etc. Todos eles estão disponíveis gratuitamente no portal da ABC, no endereço <<http://www.abc.org.br>>.

Com essas publicações, e com as conferências e oficinas de trabalho que realiza, a ABC afirma o perfil de centro de pensamento sobre o Brasil, reunindo os melhores cientistas de todas as áreas para refletir sobre o país e debater e formular propostas de políticas públicas. Colabora, assim, para a construção de uma agenda positiva para o Brasil, necessidade urgente em um país que atravessa crise profunda e que carece de um projeto de Estado rumo a um desenvolvimento sustentável, nos âmbitos econômico, social e da natureza.

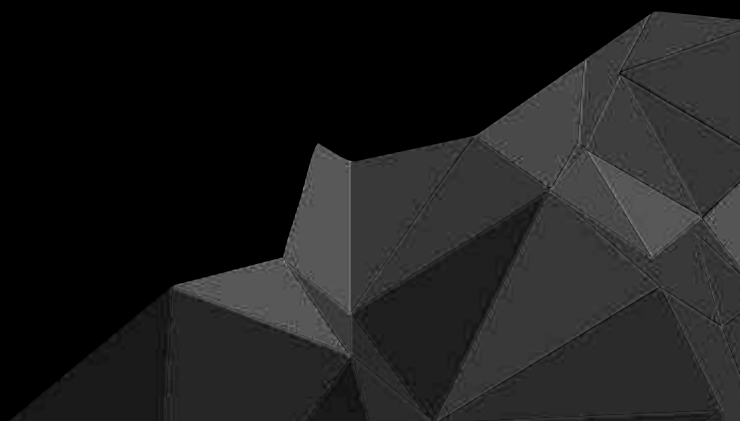
Agradeço aos dois coordenadores do *Projeto de Ciência para o Brasil*, Jerson Lima Silva e José Galizia Tundisi, por terem enfrentado com sucesso esse importante desafio, e ao Marcos Cortesão Barnsley Scheuenstuhl, por ter coordenado a eficiente equipe de assessores da ABC, essenciais para a realização deste livro. Agradeço também aos coordenadores dos diversos temas e a todos os demais cientistas que, através de sua participação competente, tornaram possível este trabalho.

Por fim, deixo registrada minha gratidão ao Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino (IDOR), mais novo Membro Institucional da ABC, que, através da disponibilização de sua equipe de comunicação, apoiou o processo de revisão final dos textos e diagramação desta publicação. Sem este apoio teríamos levado um tempo muito maior para concluir o trabalho.

Rio de Janeiro, abril de 2018.

**Luiz Davidovich**

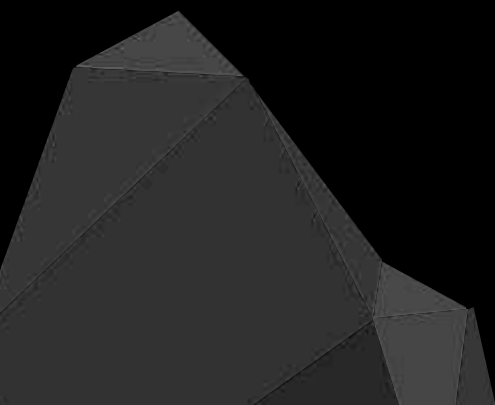
Presidente da Academia Brasileira de Ciências



# LISTA DE AUTORES

PARTICIPANTES DOS GRUPOS TEMÁTICOS  
DO PROJETO DE CIÊNCIA PARA O BRASIL

Os membros da Academia Brasileira de Ciências estão identificados por:  
\* Membro Titular    \*\* Membro Afiliado



---

## PESQUISA BÁSICA: A RAIZ DA CIÊNCIA

**Coordenadores:****Belita Koiller\***

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Glaucius Oliva\***

Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo

**André Báfica**

Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia, Universidade Federal de Santa Catarina

**Débora Foguel\***

Instituto de Bioquímica Médica, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Félix Alexandre A. Soares\*\***

Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria

**José Reinaldo de Lima Lopes**

Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo

**Lívio Amaral\***

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Marília Goulart\***

Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas

## SAÚDE POR INTEIRO

**Coordenadores:****Patrícia T. Bozza\***

Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz

**Sérgio D. J. Pena\***

Faculdade de Medicina e Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

**Cesar G. Victora\***

Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Pelotas

**Helena B. Nader\***

Departamento de Bioquímica, Universidade Federal de São Paulo

**Iscia Lopes Cendes\***

Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas

**Lício A. Velloso\***

Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas

**Manoel Barral-Netto\***

Instituto Gonçalo Moniz, Fundação Oswaldo Cruz

**Maurício L. Barreto\***

Instituto Gonçalo Moniz, Fundação Oswaldo Cruz

**Mauro M. Teixeira\***

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

**Marcello A. Barcinski\***

Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Rafael Linden\***

Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Roger Chammas\***

Instituto do Câncer do Estado de São Paulo, Universidade de São Paulo

## **POR DENTRO DO CÉREBRO**

### **Coordenadores:**

**Jorge Moll Neto**

Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino

**Roberto Lent\***

Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Esper Abrão Cavalheiro\***

Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo

**João Ricardo Sato**

Centro de Matemática, Computação e Cognição, Universidade Federal do ABC

**Sidarta Ribeiro**

Instituto do Cérebro, Universidade Federal do Rio Grande do Norte

**Stevens Rehen**

Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro/Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino

## **AR, ÁGUA E SOLO**

### **Coordenadores:**

**Adalberto Luis Val\***

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

**Virginia Ciminelli\***

Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais

**Carlos Tucci**

Rhama Consultoria Ambiental Ltda.

**Daniel Perez**

Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Fabio Rubio Scarano**

Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro/Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável

**José Roberto Boisson de Marca\***

Centro de Estudos em Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Luiz Roberto Guimarães Guilherme**

Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras

**Paulo Artaxo\***

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

**Paulo Saldiva\***

Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo

**Silvio Crestana**

Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Wolfgang Junk\***

Instituto Max Planck para Limnologia/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia



## BIODIVERSIDADE EM FOCO

### Coordenadores:

**Carlos Alfredo Joly\***

Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas

**Fabio Rubio Scarano**

Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro/Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável

**Alexander Turra**

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

**Carlos Eduardo de Matos Bicudo\***

Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

**Carlos Eduardo Frickmann Young**

Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**José Alexandre Felizola Diniz-Filho\***

Departamento de Ecologia, Universidade Federal de Goiás

**Luiz Antônio Martinelli\***

Centro de Energia Nuclear para Agricultura, Universidade de São Paulo

**Maria Manuela Ligeti Carneiro da Cunha\***

Universidade de Chicago/Universidade de São Paulo

**Mercedes Maria da Cunha Bustamante\***

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília

**Paulo Moutinho**

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

**Rafael Loyola\*\***

Laboratório de Biogeografia da Conservação, Universidade Federal de Goiás/Centro Nacional para a Conservação da Flora, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro

## CIÊNCIAS AGRÁRIAS

### Coordenadores:

**Evaldo Ferreira Vilela\***

Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Viçosa

**Elíbio Leopoldo Rech Filho\***

Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Acelino Couto Alfenas\***

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa

**Alfredo Scheid Lopes**

Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal de Lavras

**Adriano Nunes-Nesi\*\***

Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa

**Antônio Márcio Buainain**

Núcleo de Economia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas

**Agustin Zsögön**

Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa

**Bruno dos Santos A. Figueiredo Brasil**

Secretaria de Pesquisa e Desenvolvimento, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Cléber Oliveira Soares**

Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Daniel Sobreira Rodrigues**

Fazenda Experimental Santa Rita, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

**Dario Grattapaglia\***

Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Denise Aparecida Andrade**

Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

**Élcio Perpétuo Guimarães**

Embrapa Arroz e Feijão, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Eric Arthur Bastos Routledge**

Embrapa Pesca e Agricultura, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Esdras Sundfeld**

Agroindústria de Alimentos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Frederico Ozanan Machado Durães**

Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Gabriel D. Resende**

Fibria Celulose S. A.

**Geraldo Berger**

Monsanto Brasil Ltda.

**Grácia Maria Soares Rosinha**

Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Iran Borges**

Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

**Ítalo Delalibera Jr.**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo

**Jenner Karlisson Pimenta dos Reis**

Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

**José Roberto P. Parra\***

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo

**José Maurício S. Bento**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo

**José Oswaldo Siqueira\***

Instituto Tecnológico Vale

**José Lúcio dos Santos**

Microbiologia Veterinária Especial, Microvet

**João Lúcio de Azevedo\***

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo

**João de Mendonça Naime**

Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Jorge Colodette**

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa

**Lázaro Eustáquio Pereira Peres**

Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo

**Leonardo José Camargo Lara**

Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

**Lineu Neiva Rodrigues**

Embrapa Cerrados, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Luiz Roberto Guimarães Guilherme**

Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras

**Márcio Elias Ferreira**

Centro Nacional de Pesquisa de Recursos Genéticos e Biotecnologia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Marcos Heil Costa**

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa

**Maurício Antônio Lopes**

Presidência, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Niro Higuchi\***

Departamento de Silvicultura Tropical, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

**Paulo Estevão Cruvinel**

Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Ricardo S. Martins**

Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais

**Rômulo Cerqueira Leite**

Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

**Romário Cerqueira Leite**

Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

**Ronald Kennedy Luz**

Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais

**Thierry Ribeiro Tomich**

Embrapa Gado de Leite, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Silvio Crestana**

Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**CLIMA EM TRANSFORMAÇÃO****Coordenadores:****Paulo Artaxo\***

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

**José Marengo\***

Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais

**Ana Paula Dutra de Aguiar**

Centro de Ciências do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Edmo Campos\***

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

**Eduardo Delgado Assad**

Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**Eduardo Haddad**

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo

**Fabio Rubio Scarano**

Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro/Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável

**Gilberto de Martino Jannuzzi**

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas

**Luiz Drude de Lacerda\***

Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará

**Maria Assunção Faus da Silva Dias\***

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo

**Maria de Fátima Andrade**

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo

**Martha Barata**

Comissão Interna de Gestão Ambiental do Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz

**Moacyr Araújo**

Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco

**Paulo Moutinho**

Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

**Regina Rodrigues**

Coordenação de Oceanografia, Universidade Federal de Santa Catarina

**Reinhardt Adolfo Fuck\***

Instituto de Geociências, Universidade de Brasília

**Roberto Schaeffer**

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Sandra Hacon**

Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz

**Sergio Margulis**

Instituto Internacional para Sustentabilidade

**Tércio Ambrizzi\***

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo

## **CIDADES SUSTENTÁVEIS E INTELIGENTES**

**Coordenadores:**

**José Roberto Boisson de Marca\***

Centro de Estudos em Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

**Eduardo Marques**

Departamento de Ciência Política e Centro de Estudos da Metrópole, Universidade de São Paulo

**Artur Ziviani**

Laboratório Nacional de Computação Científica

**Eduardo Moreira da Costa**

Instituto LabCHIS (Cidades mais Humanas, Inteligentes e Sustentáveis)/Departamento de Engenharia do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina

**Flávia Feitosa**

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do ABC

**José Palazzo M. de Oliveira**

Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Luiz Augusto Bellusci**

Navis Design e Tecnologia

**Renata Bichir**

Centro de Estudos da Metrópole, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo

**Úrsula Peres**

Centro de Estudos da Metrópole, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo

**Vinicius M. Netto**

Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense

**Virginia Ciminelli\***

Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais

## **CIÊNCIA CONTRA A POBREZA**

**Coordenadores:**

**Elisa P. Reis\***

Instituto de Filosofia e Ciências Sociais, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Ricardo Paes de Barros\***

Instituto Ayrton Senna/Insper - Instituto de Ensino e Pesquisa

**Beatriz Silva Garcia**

Instituto Ayrton Senna/Insper - Instituto de Ensino e Pesquisa

**Laura Muller Machado**

Instituto Ayrton Senna/Insper - Instituto de Ensino e Pesquisa

**Marcello A. Barcinski\***

Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Naercio Aquino Menezes Filho\***

Cátedra Instituto Futuro Brasil, Insper - Instituto de Ensino e Pesquisa

**Paulo Marchiori Buss**

Centro de Relações Internacionais em Saúde, Fundação Oswaldo Cruz

**Simon Schwartzman\***

Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade

## **ENERGIA, UM DESAFIO PARA O FUTURO**

**Coordenadores:**

**Edson Watanabe\***

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**José Goldemberg\***

Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo

**Adnei Andrade**

Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo

**Adolpho José Melfi\***

Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo

**Aquilino Senra**

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

**Colombo C. G. Tassinari\***

Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

**Dorel Soares Ramos**

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

**Fernando L. M. Antunes**

Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará

**Gilberto de Martino Jannuzzi**

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas

**José Roberto Moreira**

Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo

**Leandro Alcoforado Sphaier\*\***

Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense

**Lívio Amaral\***

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Paulo Artaxo\***

Instituto de Física, Universidade de São Paulo

**Ricardo Galvão\***

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Segen Estefen**

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

## VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS

**Coordenadores:**

**Aroldo Misi\***

Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia

**Fernando A. Freitas Lins**

Centro de Tecnologia Mineral

## ÁGUA EM FOCO

**Coordenador:**

**Francisco Antônio Rodrigues Barbosa**

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

## CIÊNCIAS DO MAR

**Coordenadores:**

**Luiz Drude de Lacerda\***

Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará

**Edmo Campos\***

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

**Alexander Turra**

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

**Andrei Polejack**

Coordenadoria Geral de Oceanos, Antártica e Geociências, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

**José Muelbert**

Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande

**Michel Mahiques**

Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo

**Paulo Nobre**

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Segen Estefen**

Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro

## BRASIL NO ESPAÇO

**Coordenadores:**

**Ricardo Galvão\***

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Valder Steffen Jr.\***

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia

**Adenilson Silva**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Amauri Silva Montes**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Antonio Carlos Pereira**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Carlos de Oliveira Lino**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Carlos Gurgel Veras**

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília

**Cesar Ghizoni**

Equatorial Sistemas S.A.

**Fabiano Luis de Sousa**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Gilberto Câmara**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Haroldo de Campos Velho**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**João Braga**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**João Luiz Filgueiras de Azevedo**

Instituto de Aeronáutica e Espaço

**João Steiner\***

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo

**João Viane Soares**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**João Vital Cunha Junior\*\***

Instituto de Física, Universidade Federal do Pará

**Leila Fonseca**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Leonel Perondi**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Luis Eduardo Loures da Costa**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica

**Manoel Mafra de Carvalho**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Marco Antonio Chamon**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Maria de Fatima Mattiello Francisco**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Mauricio Gonçalves Vieira Ferreira**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**Milton Chagas**

Programa de Mestrado e Doutorado em Administração, Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas

**Petrônio Noronha de Souza**

Diretoria de Política Espacial e Investimentos Estratégicos, Agência Espacial Brasileira

**Ricardo de Queiroz Veiga**

Equatorial Sistemas S.A.

**Walter Bartels**

Associação das Indústrias Aeroespaciais do Brasil

## NOVAS TECNOLOGIAS PARA O SÉCULO XXI

### Coordenadores:

#### **Marcos A. Pimenta\***

Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Ricardo T. Gazzinelli\***

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais/Centro de Pesquisa René Rachou, Fundação Oswaldo Cruz

#### **Virgílio Almeida\***

Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

### **Gilberto Medeiros**

Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Gustavo B. Menezes\*\***

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Gustavo C. Cerqueira**

Instituto Broad, Instituto de Tecnologia de Massachusetts

#### **João T. Marques**

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Marcio de Castro Silva Filho\***

Departamento de Genética, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo

#### **Mayana Zatz\***

Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo

#### **Nivio Ziviani\***

Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Oscar Mesquita**

Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Oswaldo Luiz Alves\***

Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas

#### **Roberto Faria\***

Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo

#### **Samuel Goldenberg\***

Instituto Carlos Chagas, Fundação Oswaldo Cruz

#### **Santuza R. Teixeira**

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Virginia Ciminelli\***

Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais

#### **Wagner Meira Jr.**

Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais

## O CAMINHO DA INOVAÇÃO

### Coordenadores:

#### **João Fernando Gomes de Oliveira\***

Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo

#### **Jorge Almeida Guimarães\***

Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial/Universidade Federal do Rio Grande do Sul

#### **Alvaro Toubes Prata\***

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina





# SUMÁRIO

## **INTRODUÇÃO**

27

CAPÍTULO 1

## **PESQUISA BÁSICA: A RAIZ DA CIÊNCIA**

41

CAPÍTULO 2

## **SAÚDE POR INTEIRO**

61

CAPÍTULO 3

## **POR DENTRO DO CÉREBRO**

83

CAPÍTULO 4

## **AR, ÁGUA E SOLO**

97

CAPÍTULO 5

## **BIODIVERSIDADE EM FOCO**

119

---

CAPÍTULO 6

**CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

133

CAPÍTULO 12

**ÁGUA EM FOCO**

283

CAPÍTULO 7

**CLIMA EM TRANSFORMAÇÃO**

157

CAPÍTULO 13

**CIÊNCIAS DO MAR**

297

CAPÍTULO 8

**CIDADES SUSTENTÁVEIS E  
INTELIGENTES**

185

CAPÍTULO 14

**BRASIL NO ESPAÇO**

319

CAPÍTULO 9

**CIÊNCIA CONTRA A POBREZA**

207

CAPÍTULO 15

**NOVAS TECNOLOGIAS PARA  
O SÉCULO XXI**

345

CAPÍTULO 10

**ENERGIA, UM DESAFIO PARA  
O FUTURO**

227

CAPÍTULO 16

**O CAMINHO DA INOVAÇÃO**

373

CAPÍTULO 11

**VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS  
MINERAIS**

263



---

# INTRODUÇÃO

A história aponta que nenhum país pode prescindir da ciência e da tecnologia para alcançar o pleno desenvolvimento econômico e social. Pensando nisso, a Academia Brasileira de Ciências propôs o Projeto de Ciência para o Brasil, apresentado neste livro. Os 16 capítulos a seguir apresentam propostas concretas para o desenvolvimento científico e tecnológico do país.

Antes disso, porém, vale notar que a ciência brasileira teve um grande desenvolvimento nas últimas décadas. O Brasil passou a formar mais de 16 mil doutores por ano, cientistas brasileiros conquistam importantes prêmios internacionais e há exemplos de sucesso na aviação, na agricultura, na produção de óleo e gás, na saúde, na medicina tropical e no crescente número de empresas de base tecnológica e de *startups* em parques tecnológicos.

O Brasil reúne condições muito favoráveis para utilizar eficientemente ciência, tecnologia e inovação em um projeto de desenvolvimento ousado e transformador que contribua para aumentar a riqueza e reduzir as desigualdades, melhorando o nível de vida da população e colocando o país em uma posição destacada no cenário internacional. A capacidade científica consolidada no país ao longo das últimas décadas, suas dimensões continentais, sua população e a diversidade de seus ecossistemas permitem trilhar este caminho.

Ao longo dos capítulos a seguir, há exemplos convincentes de como a ciência é determinante para o desenvolvimento de um país. Esse é um empreendimento que deve envolver não só governos e empresários, mas toda a sociedade. O que fez com que países como EUA, Alemanha, Japão e Coreia do Sul, entre outros, alcançassem alto grau de desenvolvimento econômico e social? Ciência, tecnologia e inovação. E estas não são um papel apenas do Estado, mas de toda a nação.

Um exemplo ilustrativo, na história dos Estados Unidos, é a frase da filantropa americana Mary Woodard Lasker (1900-1994): “Se você pensa que pesquisa é cara; experimente a doença”. O *lobby* altamente positivo de Lasker para a ciência resultou em várias ações do governo americano, entre elas o Comitê de Cidadão para Conquista do Câncer, que resultou no Ato Nacional contra o Câncer, assinado pelo presidente Nixon em 1971.

Adaptada para o mundo de hoje, e em especial para a realidade brasileira, a expressão de Lasker seria: se você considera que a pesquisa é cara, experimente a doença e o subdesenvolvimento tecnológico. Sem agências de fomento revigoradas e suas universidades e centros de pesquisas minimamente fomentados, o Brasil não conseguirá trilhar o caminho seguido pelos países desenvolvidos e pelos demais membros do Brics – grupo que inclui Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul. Para ser um verdadeiro Estado desenvolvido e justo socialmente, o Brasil precisa ter um Projeto de Ciência com robusto financiamento, tanto por parte do governo como pelo setor privado.

Na busca do desenvolvimento sustentável, é crucial que o país invista em ciência, educação e inovação tecnológica. O presente documento estabelece um roteiro detalhado com foco em áreas estratégicas para se avançar no desenvolvimento científico e tecnológico. Cada capítulo traz o estado atual de desenvolvimento de uma determinada área e quais são os desafios e vantagens competitivas para que a ciência brasileira possa avançar e, com isso, contribuir para o desenvolvimento social e econômico do país.

---

# INSTITUCIONALIZAÇÃO DA CIÊNCIA BRASILEIRA

A organização institucional da ciência no Brasil iniciou-se ao final do século XIX e início do século XX, com a implantação de institutos de pesquisa em algumas áreas de relevante interesse, como agronomia, biologia e saúde pública. Nesse contexto, o apoio científico a questões prementes na época, como produção cafeeira, parasitas e saúde pública, foi uma motivação fundamental. Outro passo importante para a institucionalização da ciência no Brasil foi a fundação da Academia Brasileira de Ciências, com a finalidade de agregar e reconhecer cientistas de alto nível em diferentes áreas, em 1916. Em 1948, foi fundada a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), nos moldes das que existiam também em outros países.

Mais tarde, em 1951, a fundação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq, atual Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) foi uma etapa também relevante desta organização institucional. Seguiu-se, ainda, a fundação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), no mesmo ano, e, posteriormente, da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), em 1967. Este aparato governamental teve papel fundamental na consolidação de áreas de pesquisa científica e no desenvolvimento tecnológico, este último especialmente promovido pela Finep nas décadas de 1970 a 1980. Seguiu-se, ainda, a fundação e implementação do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em 1985, consolidando essa etapa do desenvolvimento científico e da organização da infraestrutura governamental para o apoio à pesquisa científica e tecnológica no Brasil.

O ciclo de consolidação da infraestrutura do governo para que o país tivesse um programa de ciência e tecnologia mais avançado completou-se com a criação ou incorporação, ao longo de 50 anos, de institutos de pesquisa científica nas áreas de matemática (como o Instituto de Matemática Pura e Aplicada), física (como o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas), Amazônia (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Museu Paraense Emílio Goeldi), ciências espaciais (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e outras. Essas organizações foram assumidas pelo CNPq ou pelo MCT ao longo do tempo, e seus orçamentos dependiam da agência ou do Ministério. Posteriormente, em uma ação mais abrangente para a consolidação do sistema, esses institutos foram incorporados ao MCT.

No nível estadual, muitos institutos de pesquisa foram criados ao longo de 70 anos, e também fundações de amparo à pesquisa científica. A primeira delas foi a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), em 1962. Em outros estados, fundações semelhantes surgiram, porém com aportes financeiros mais irregulares e menos consistentes.

Deve-se destacar, também, a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 1973, que promoveu um extraordinário desenvolvimento científico na área agrícola e possibilitou a transformação do Brasil em uma potência agrícola no século XXI, não só para produção sustentada de alimentos para o Brasil, mas também para exportação.

Portanto, sob a perspectiva de proposta e execução de um aparato de governo para o apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico, o Brasil cumpriu, no século XX, esta missão. O sistema foi sendo lentamente aperfeiçoado, por exemplo, com apoio à pós-graduação e com um sistema de bolsas de vários níveis – incluindo iniciação científica, uma iniciativa rara no panorama mundial. Entretanto, todo esse conjunto, com suas ramificações, ainda ficou aquém do que o Brasil necessitava para utilizar de forma adequada o conhecimento e os recursos humanos produzidos. Trocando em miúdos, o esforço foi necessário, mas não foi suficiente para o pleno desenvolvimento do país.

## FINANCIAMENTO À PESQUISA

Além da criação do aparato institucional necessário para apoiar a ciência, outra questão fundamental, mais complexa, está relacionada com o financiamento da pesquisa, que precisa ser robusto e continuado. Provavelmente, aqui está a resposta para a completude apenas parcial da missão de desenvolvimento do Brasil.

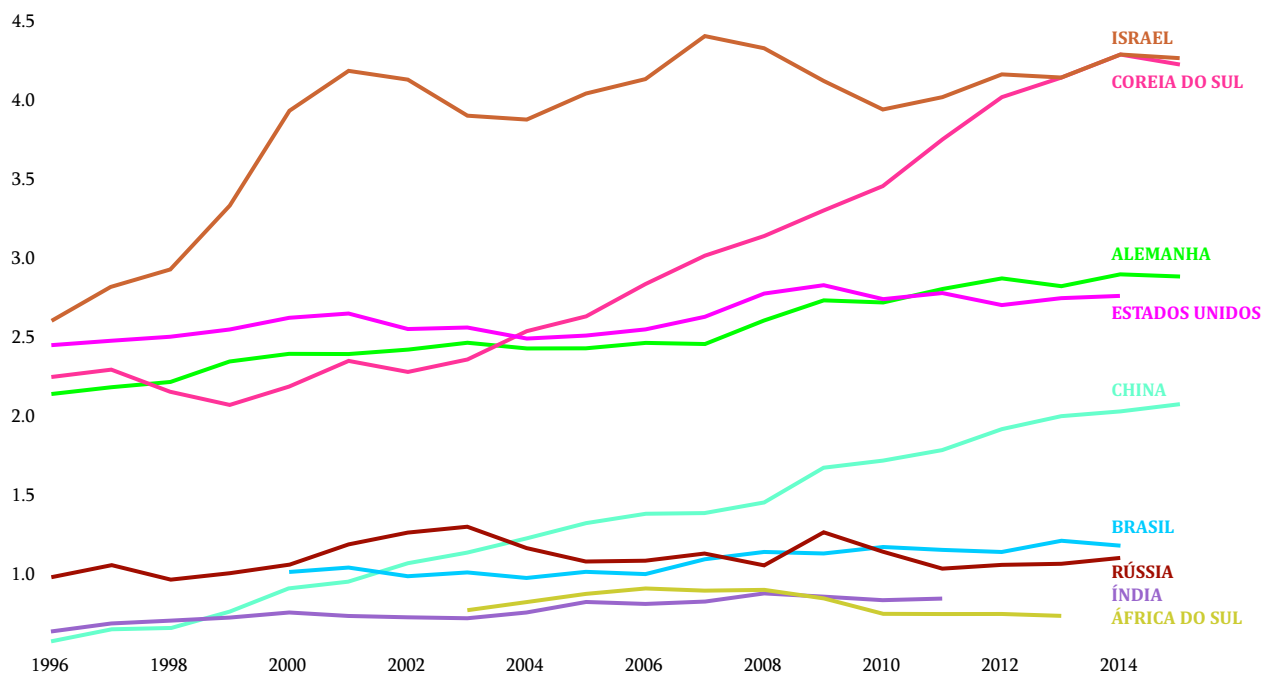


Ciência e tecnologia necessitam de investimentos públicos consistentes e permanentes. Sem eles, a organização institucional e a formalização do processo não asseguram o desenvolvimento. No Brasil, a flutuação dos investimentos foi e é um dos grandes problemas e entraves para o apoio ao desenvolvimento científico e tecnológico. Somente a estabilidade dos investimentos no nível nacional, proveniente do governo central, garantirá o apoio continuado, a manutenção de laboratórios e o estímulo à inovação e à criatividade.

Para se ter uma ideia, vale comparar o apoio financeiro do Brasil à ciência ao longo dos últimos 30 anos com o que ocorreu em outros países, como Coreia, Estados Unidos, Alemanha e outros.

## INVESTIMENTO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (% DO PIB)

Fonte: Banco Mundial



Há outro problema que também contribui para o desequilíbrio: a assimetria do financiamento nos níveis nacional e estadual. No caso específico da Fapesp, por exemplo, o aporte de recursos equivale a 1% dos impostos e taxas estaduais, seguindo rigorosamente a constituição do estado de São Paulo, o mais próspero do país. Em outros estados, a realidade é diferente. Apesar de o Brasil possuir fundações de amparo à pesquisa em 25 estados e no Distrito Federal, a maioria delas tem sofrido redução dos orçamentos com recentes crises financeiras e fiscais.

Essa assimetria acentua o desequilíbrio, e suscita a pergunta: há uma ciência central e uma ciência periférica no Brasil? Não deveria haver.

A instabilidade e a flutuação dos investimentos em ciência e tecnologia produzem outras fraquezas institucionais, como a perda de oportunidades para jovens cientistas. Esforços despendidos por universidades, institutos de pesquisa e agências de fomento para formar pesquisadores resultam em perdas, pois o processo de financiamento é irregular e as demandas não são atendidas, o que promove a fuga de cérebros para outros centros em países avançados, com maior estabilidade no financiamento e mais oportunidades de trabalho.

Foram inúmeras as oportunidades pouco aproveitadas pelo Brasil nos últimos dez anos. Um exemplo que merece ser mencionado é o programa Institutos do Milênio, que apoiou, em 2001, 17 instituições de alto nível e, posteriormente, transformou-se em um amplo e variado projeto de apoio aos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), que hoje são mais de 100 no país, com recursos tanto das agências do governo federal quanto das fundações estaduais. Entretanto, o financiamento ainda é insuficiente para promover um programa deste porte. Provavelmente, uma expansão controlada e estratégica do programa, com mais recursos por instituto, poderia ser mais eficiente e produtiva.

Outra oportunidade desperdiçada foi a implantação dos Fundos Setoriais, também em 2001. Esse projeto, que contou com a contribuição de iniciativa privada, governo e cientistas em diferentes áreas, foi considerado uma importante consolidação de investimentos em ciência e tecnologia. Porém, os recursos, que deveriam ser prontamente disponibilizados para pesquisa e desenvolvimento, têm sofrido contingenciamentos e não são plenamente executados. Montantes acumulados estão paralisados há mais de cinco anos. A presente crise no financiamento à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico poderia ser minimizada pela retomada desses Fundos Setoriais. Esta é uma demanda urgente!

---

## CIÊNCIA NA AGENDA NACIONAL

Por fim, outro fator que minimiza todo o esforço que se fez até agora para consolidar a ciência e o desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil é que os governos, ao longo do tempo, utilizaram muito pouco da pesquisa por eles financiada. É importantíssimo questionar por que isso acontece.

Uma pessoa pouco conhecedora das pesquisas científicas realizadas no Brasil poderia pensar que a ciência feita por aqui não é relevante. Porém, basta observar o grande alcance das pesquisas brasileiras – prêmios recebidos, artigos publicados em revistas de alto nível, grande número de citações – para verificar que isso não é verdade. A ciência feita no Brasil tem, sim, relevância, inclusive no cenário mundial.

Por outro lado, um fator que certamente dificulta o aproveitamento do conhecimento científico produzido no país pelas diferentes esferas de governo é que os tomadores de decisão, muitas vezes, não têm acesso a esse conhecimento.

Paralelamente, os responsáveis por decidir em que medida a ciência deve ser financiada frequentemente não conhecem essa ciência. E, mesmo que a conheçam, outros fatores têm peso na tomada de decisão. Nesse contexto, prioridades políticas podem estar acima das prioridades estratégicas para compor o orçamento da ciência e tecnologia.

Finalmente, uma realidade que agrava o quadro descrito até agora é que não existe um canal específico de comunicação entre cientistas e governos. Assim, na elaboração de orçamentos, como haverá consultas com os cientistas sobre as prioridades de pesquisa?

Nesse contexto, questão importantíssima é a participação do Congresso Nacional, que tem a missão de discutir, votar, alterar e aprovar as leis orçamentárias enviadas pelo Executivo. É a este órgão que cabe, portanto, opinar e debater com a sociedade o orçamento de ciência e tecnologia e modificá-lo, se for o caso. Nos últimos anos, ABC e SBPC têm se aproximado do Congresso Nacional para participar do debate, mostrando a grande importância da ciência e da tecnologia para o desenvolvimento do país.

Registre-se aqui que o Congresso dos Estados Unidos, recentemente, rejeitou as propostas de corte no orçamento de ciência e tecnologia do governo Trump e promoveu um aumento de 8% no orçamento da Agência Espacial Norte-Americana (Nasa) para ciência, 5% no orçamento dos Institutos Nacionais de Saúde e 4% no orçamento da Fundação Nacional de Ciência, totalizando um acréscimo de US\$20,1 bilhões sobre o orçamento de 2017.<sup>[1]</sup>



# PROPOSTAS

Pelos motivos acima expostos, a ABC traçou uma série de recomendações para a agenda política no setor de ciência e tecnologia, de modo a beneficiar todas as áreas da pesquisa científica desenvolvida no Brasil:

1

---

Recompor imediatamente os Fundos Setoriais, reconstituindo seus mecanismos de avaliação e o dispêndio de recursos;

2

---

Recompor, com urgência, o orçamento de ciência e tecnologia, voltando ao nível de 2013 e eliminando o contingenciamento de recursos para a área;

3

---

Propor e desenvolver novos institutos de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações em áreas relevantes e estratégicas, e rever as prioridades e metas dos atuais institutos;

4

---

Integrar projetos estruturantes, como os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) e os laboratórios nacionais multiusuários – projeto Sirius e Reator Multipropósito, entre outros – aos setores da indústria, de modo a aumentar a intensidade tecnológica;

5

---

Ampliar e aperfeiçoar o ensino de ciências em todos os níveis, desde a educação básica até o ensino universitário, promovendo a aprendizagem por meio da resolução de problemas e da prática experimental;

---

# 6

---

Criar um projeto estratégico de longo prazo para o futuro em ciência e tecnologia, com a participação de uma comissão independente de cientistas. Esse projeto deve estar apoiado em documentos já existentes, como o Livro Azul da 4ª Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia e os volumes publicados pela ABC, e ter apoio total do governo. Com a organização institucional que existe, se o Brasil tiver um plano de longo prazo com financiamentos definidos, haverá um florescimento de pesquisa e inovação de forma sustentada com retornos em curto e médio prazos;

# 7

---

Organizar um esforço do governo para impulsionar políticas públicas, nos âmbitos federal, estadual e municipal, fundamentadas em pesquisa e desenvolvimento;

# 8

---

Perseguir a meta de aumentar o investimento em pesquisa e desenvolvimento, passando de um patamar de cerca de 1% para 2% do PIB, com incremento de 700 para 3000 cientistas e engenheiros por milhão de habitantes.

Encerramos esta introdução convidando à leitura de todos os capítulos e à transformação deste *Projeto de Ciência para o Brasil* em um debate nacional. É evidente que ajustes fiscais e a boa condução da economia de um país são cruciais para a gestão de uma nação, mas essas medidas só logram êxito se incluírem uma âncora no desenvolvimento tecnológico. Somente o conhecimento, a ciência e a tecnologia poderão trazer resultados mais perenes, e não apenas paliativos, para um verdadeiro desenvolvimento sustentável do Brasil, tornando-o menos dependente de *commodities* e mais baseado em produtos com alto valor de inovação agregado.

**Jerson Lima Silva e José Galizia Tundisi**  
 Coordenadores do *Projeto de Ciência para o Brasil*

---

[i] MERVIS, J.. Congress gives science a record funding boost. **Science**, [s.l.], v. 359, n. 6383, p.1447-1448, 29 mar. 2018. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.359.6383.1447>>.







---

# 1

## PESQUISA BÁSICA: A RAIZ DA CIÊNCIA

---

FORTALECIMENTO E FINANCIAMENTO  
SÃO ESSENCIAIS PARA AMPLIAR O CONHECIMENTO  
E POSSIBILITAR A INOVAÇÃO

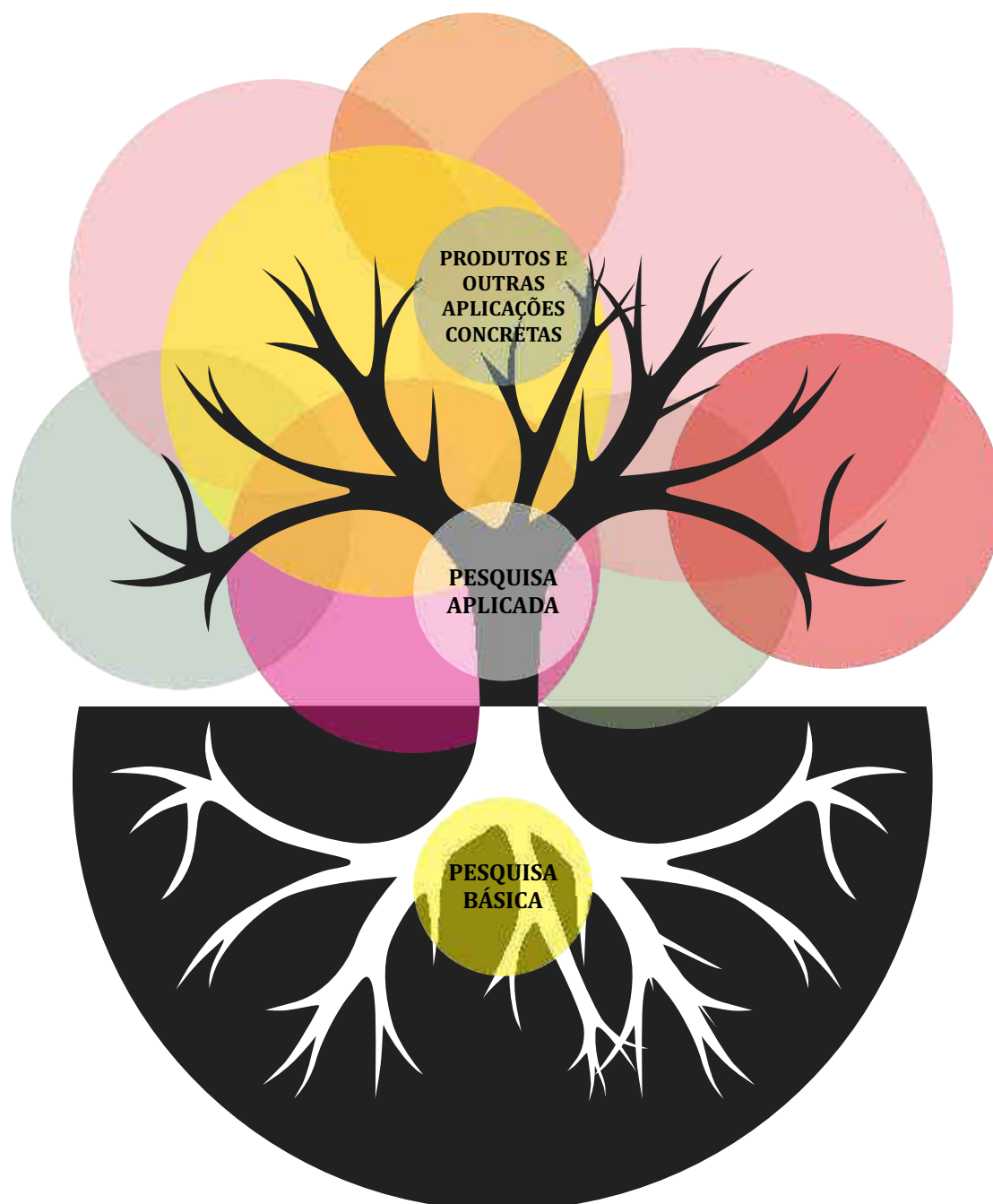
**A** curiosidade pelo desconhecido é o que move a ciência básica: faz-se pesquisa básica para aperfeiçoar a compreensão ou a predição de um fenômeno, seja ele do mundo natural ou não.<sup>[1]</sup> O objetivo da ciência básica é, simplesmente, expandir o conhecimento humano. Mas sua importância não se limita a isso. O conhecimento adquirido pode inspirar soluções para problemas, ou inovações que podem gerar benefício para a sociedade ou para o meio ambiente, por exemplo.

## O QUE É CIÊNCIA BÁSICA?

Segundo a Fundação Nacional de Ciência dos Estados Unidos, ciência básica é a pesquisa científica centrada no desenvolvimento de teorias científicas para aperfeiçoar a compreensão ou a predição de fenômenos naturais ou não. Dessa forma, os cientistas que trabalham com pesquisa básica têm como principal força motriz a curiosidade pelo desconhecido.

Na maior parte dos casos, a ciência aplicada se vale das descobertas e teorias científicas enunciadas e construídas pela pesquisa básica, acumuladas ao longo de séculos. Assim, é possível dizer que a pesquisa básica alimenta e nutre a pesquisa aplicada, sendo, portanto, fundamental para o desenvolvimento tecnológico – mais um motivo pelo qual merece atenção e apoio por parte do Estado, dos governos e de todos os gestores que almejam o crescimento econômico e social de suas nações. Não por acaso, as sociedades que mais apoiam a pesquisa básica são aquelas onde também florescem, com mais vigor, as ciências aplicadas, a inovação e, por conseguinte, o bem-estar social e a qualidade de vida.

Dessa forma, se a atividade científica pudesse ser representada por uma árvore, a pesquisa básica seria sua raiz; a pesquisa aplicada, seus galhos; e os produtos e outras aplicações concretas, seus frutos.



Um estudo comparativo<sup>[iii]</sup> entre Brasil, Rússia, Índia, China e Coreia do Sul mostrou forte correlação entre as áreas mais produtivas e impactantes da ciência produzida por esses países e seus principais pilares econômicos. O Brasil é um dos principais produtores de conhecimento em ciências agrícolas e ciências de plantas e animais, respondendo por 8,8% e 6,6% da produção mundial nessas áreas. A Rússia, por sua vez, é expoente na área de física (7,3% da produção mundial), enquanto Índia e China dominam, respectivamente, os campos da química (6,4% da produção mundial) e da ciência de materiais (24,5% da produção mundial). Este último é também o campo de destaque da Coreia do Sul, que responde por 6,3% da produção global no assunto.

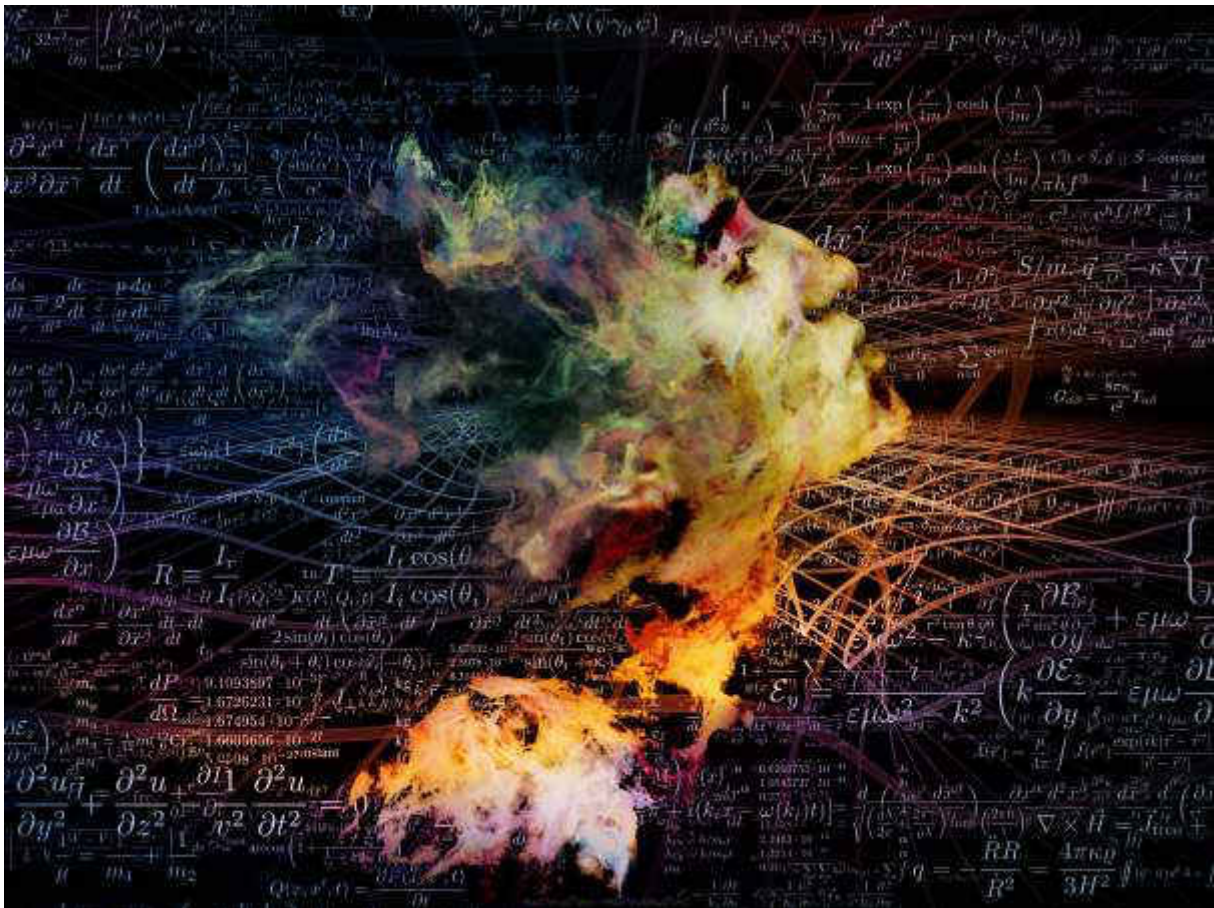
## DIVERSIDADE DE TEMAS

A ciência básica não está restrita a uma ou outra área do conhecimento. Pelo contrário, pode abordar uma enorme variedade de temas. Alguns exemplos de pesquisa básica em andamento no Brasil são projetos de física e astrofísica, ligados ao uso de telescópios e à observação do céu para uma melhor compreensão do Universo; e pesquisas em sociologia, antropologia, filosofia, ciências sociais e outras, que se debruçam sobre os diferentes aspectos da vida social, dos conflitos modernos, das desigualdades, da violência, das diferentes culturas, dos sistemas políticos e outros temas candentes.

Recentemente, um exemplo de especial relevância é o estudo dos processos celulares e moleculares envolvidos nas epidemias de dengue, zika e chikungunya ocorridas no país. A compreensão da biologia dos vírus, de seu ciclo infeccioso e da fisiopatologia das doenças a eles relacionadas é objeto da pesquisa básica, com repercussões potenciais no desenvolvimento de novos fármacos, vacinas e métodos diagnósticos. Já as investigações básicas em matemática têm contribuição clara para aplicações como criptografia, transmissão de sinais e modelos econômicos, climáticos e de competição entre espécies, entre tantos outros.

Além de promover o avanço das fronteiras do conhecimento científico, a ciência básica resulta em novos paradigmas dos quais decorrem métodos e práticas para o estudo da natureza e da sociedade, difundindo e fortalecendo a educação científica e tecnológica, crucial para desenvolver as competências necessárias para que todos exerçam sua cidadania e participem da sociedade do conhecimento. Em resumo, os ganhos trazidos pela ciência básica se traduzem em benefícios econômicos, sociais, educacionais ou intelectuais e culturais. Por isso, investir recursos de forma substancial e perene em pesquisa básica e formar cientistas devem ser prioridades de qualquer nação.

Em 1969, o físico norte-americano Robert W. Wilson, quando perguntado sobre o que o Fermilab – um dos mais importantes laboratórios de ciência básica do mundo, dedicado ao estudo da estrutura da matéria – poderia fazer pela defesa militar dos Estados Unidos, respondeu: “[O Fermilab] não tem nada diretamente a fazer pela defesa do nosso país [EUA], exceto fazer com que valha a pena defendê-lo”<sup>[iii]</sup> A resposta resume com propriedade a importância da pesquisa básica para uma nação: trata-se de um bem, um patrimônio, uma riqueza que merece ser defendida e, por conseguinte, apoiada.



# RESPONSABILIDADE GOVERNAMENTAL

No mundo, grande parte da pesquisa básica é realizada nos institutos de pesquisa e nas universidades, que são os principais repositórios científico e cultural de uma nação. Por exemplo, nos Estados Unidos, a Fundação Nacional de Ciência (NSF, na sigla em inglês)<sup>[iv]</sup> estima que 76% da pesquisa básica seja feita nas universidades. No Brasil não é diferente: dados de 2012 mostram que o conjunto de apenas dez universidades públicas brasileiras responde por 68% do total de documentos brasileiros indexados na *Web of Science*<sup>[v]</sup> resultantes de pesquisa básica ou aplicada. Isso se explica em parte porque o resultado de muitas pesquisas básicas, por sua natureza, são bens públicos, insuscetíveis de exclusividade e, na maioria das vezes, não patenteáveis.

Tendo em mente que a ciência básica, considerada isoladamente, não é autossustentável, tem caráter de construção coletiva e, ainda, que é nas universidades e nos institutos de pesquisa públicos (ou com apoio governamental) que grande parte desse tipo de projetos se desenvolve no Brasil, cabe ao Estado financiar adequadamente essas instituições e seus grupos de pesquisa, em especial os grupos de pesquisadores jovens, que representam o futuro da ciência. Trata-se de uma atividade dispendiosa, que requer muitos recursos para sua plena e eficaz condução – incluindo verbas para construção de laboratórios e espaços de pesquisa, compra de insumos e equipamentos atualizados, formação de pessoal qualificado, mobilidade de pesquisadores e estudantes etc.

Dois exemplos de criação de infraestrutura para a pesquisa básica em andamento e que requerem grandes aportes do governo são o Projeto Sirius e o Reator Multipropósito Brasileiro. O primeiro, que já está em fase final, visa à construção de um novo acelerador de elétrons com anel de mais de 500 m de circunferência – o aparato vai permitir a análise da estrutura atômica de moléculas e cristais, sendo imprescindível para o avanço nos estudos em áreas como física, química, biologia, ciência de materiais, nanotecnologia, engenharia etc. Já o segundo possibilitará a produção nacional de radioisótopos utilizados tanto na área médica quanto pelo setor industrial. Atualmente, esses insumos são importados. O Projeto Sirius e o Reator Multipropósito Brasileiro são, portanto, bens nacionais, cuja construção poderá, inclusive, atrair cientistas estrangeiros para realizar seus experimentos no Brasil.





Projeto Sirius (abril de 2018). Crédito: Renan Picoreti/Divulgação CNPEM

Vale ressaltar que, mesmo em países onde a intervenção do Estado nas relações de mercado é mínima, na prática, o Estado é fortemente engajado nas áreas de ciência, tecnologia e inovação (C,T&I), em especial no aporte de recursos para a ciência básica, que configura etapa de pesquisa de maior risco e, em geral, não recebe aporte de recursos privados. Essa questão de aparente dicotomia entre financiamento público e privado da ciência tem sido estudada por diversos pesquisadores.<sup>[vi]</sup> O que fica evidente nesses estudos é que, por trás de diversos inventos, como a internet, o telefone celular, o GPS e vários outros, houve aporte maciço de recursos públicos iniciais, sem os quais não se chegaria a esses produtos. Dessa forma, o Estado, assumindo os riscos e incertezas inerentes à pesquisa básica, pavimenta o caminho para a criação de novos produtos, tecnologias e mercados. É o que acontece em países desenvolvidos como Alemanha, Coreia do Sul, Noruega, Inglaterra e Estados Unidos, de tradições extremamente liberais do ponto de vista econômico.

## DA PESQUISA BÁSICA À INOVAÇÃO

Ao usar um computador ou tomar uma vacina, muita gente não tem ideia de quanta ciência básica foi necessária para chegar a esses produtos. A seguir, alguns exemplos de como a pesquisa básica tornou viável uma série de inovações hoje indispensáveis:

**Supercondutividade, encefalogramas e trens de levitação:** Em 1911, o físico holandês Kamerlingh Onnes descobriu que, em baixas temperaturas, os metais não ofereciam nenhuma resistência à passagem de corrente elétrica – estava descoberta a supercondutividade. Mais tarde, em 1968, esse conhecimento foi usado para construir magnetoencefalógrafos, aparelhos capazes de detectar sinais produzidos pelo cérebro humano, o que permitiu avaliar o funcionamento desse órgão com alta precisão. Já nos anos 2000, a supercondutividade foi utilizada também na construção de motores, geradores e transformadores menores e mais leves e trens de levitação de alta velocidade.

**Capacidade maior em máquinas cada vez menores:** Desde o século XIX, sabe-se que alguns materiais são semicondutores – isto é, sua condutividade elétrica os coloca no meio do caminho entre condutores e isolantes. Mas ninguém via utilidade para essa propriedade até 1949, quando foi inventado o transistor. Quase uma década depois, em 1958, o engenheiro norte-americano Jack Kilby elaborou o primeiro chip, concentrando em um único substrato semicondutor todos os elementos de um circuito. Surgiram as calculadoras de bolso. Com o passar dos anos, os chips foram sendo aperfeiçoados, de modo a ter capacidade de processamento cada vez maior e, ao mesmo tempo, tamanho cada vez mais reduzido, numa progressão em tecnologia e inovação sem precedentes na história. Décadas depois, observa-se ainda um aumento contínuo, ainda que menos acelerado, de desempenho, acompanhado de miniaturização e redução dos preços de computadores e dispositivos eletrônicos.

**A descoberta do DNA e a biotecnologia:** Componente central da vida, o DNA (abreviatura, em inglês, para ácido desoxirribonucleico) foi descoberto em 1869 e teve sua estrutura descrita em 1953, num trabalho que rendeu fama a James Watson e Francis Crick. Nas décadas seguintes, uma quantidade enorme de cientistas se debruçou sobre as funções biológicas dessa molécula na genética, na replicação celular e na evolução de espécies. Mais recentemente, foram desenvolvidos métodos de recombinação controlada do DNA, o que deu origem aos organismos geneticamente modificados, com diversas aplicações na medicina e na agricultura. Hoje, a biotecnologia utiliza o conhecimento do DNA em aplicações variadas, que vão desde a investigação de crimes até os algoritmos de busca usados na informática.

**Da Lua para a Terra:** A ida do homem à Lua foi precedida de intensa pesquisa básica visando novos materiais, apropriados para as condições da viagem. Porém, depois disso, muitos desses conhecimentos foram aproveitados em aplicações para a vida cotidiana. Por exemplo, o material das botas dos astronautas revolucionou os sapatos para corridas e outros esportes, aumentando a absorção de choques e melhorando a estabilidade e o controle do movimento. Já a tecnologia das roupas espaciais é utilizada para fabricação de telhados retráteis mais resistentes que o aço, leves e translúcidos, o que reduz a necessidade de iluminação interna.

Assim, a ABC acredita que o Brasil deve prosseguir com um sistema de C,T&I simbiótico, onde atuem os componentes da tripla hélice formada por Estado, universidades e empresas.

# CONTRIBUIÇÕES BRASILEIRAS NA CIÊNCIA BÁSICA

Ao longo da história da ciência realizada no país, há muitos exemplos de sucesso na interação entre a ciência básica e aplicações concretas que proporcionaram benefícios econômicos e sociais. Infelizmente, boa parte desses exemplos permanece desconhecida do grande público.

Um caso emblemático é o da agrônoma Johanna Döbereiner, responsável pela descoberta, em 1957, de bactérias fixadoras de nitrogênio em gramíneas, como o milho e a cana-de-açúcar. Sua pesquisa, realizada no Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícola do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas – o precursor da Embrapa Agrobiologia –, transformou o Brasil no segundo maior produtor mundial de soja, atrás apenas dos Estados Unidos. Hoje, o agronegócio responde por 23% do PIB nacional e, no biênio 2015-2016, o país exportou cerca de US\$ 28 bilhões em soja.

Johanna Döbereiner/Acervo UFRGS



Outro exemplo relevante é a insulina humana recombinante, produto biotecnológico produzido desde a década de 1990 e desenvolvido a partir das pesquisas do médico Marcos dos Mares Guia sobre a química de proteínas. Antes dela, a insulina usada por diabéticos era extraída do pâncreas de bois e porcos. A versão recombinante envolve modificar geneticamente a bactéria *Escherichia coli* para torná-la capaz de sintetizar o hormônio e levou à criação da Biobrás, primeira empresa capaz de fabricar enzimas e insulina no Brasil, em 1975. Milhões de diabéticos utilizam o medicamento, distribuído gratuitamente na rede pública de saúde.

Há vários outros casos de sucesso na área de saúde, como o estudo de produtos naturais com potencial aplicação médica. O Acheflan, primeiro fármaco totalmente nacional, foi desenvolvido por cientistas brasileiros desde a identificação do princípio ativo na erva-baleeira (*Cordia verbenacea*) até a criação e distribuição do medicamento. A bradicinina, hormônio usado para regular a pressão arterial, foi objeto de estudo de Maurício Oscar da Rocha e Silva, Wilson Beraldo, Gastão Rosenfeld e Sérgio Ferreira, entre outros pesquisadores brasileiros, e tem atualmente enorme importância para a indústria de medicamentos destinados ao controle da hipertensão. Na interface entre a medicina e a engenharia, o trabalho do brasileiro Euryclides Zerbini permitiu a produção nacional de toda a gama de equipamentos para cirurgia cardíaca a custo compatível com a realidade local. Hoje, o Brasil é o segundo país do mundo em número de cirurgias deste tipo.

Já na área de desenvolvimento de novos materiais, destacam-se o isolamento de alta tensão usado no mundo inteiro, criado a partir da pesquisa básica sobre polímeros naturais e sintéticos realizada na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), e os nanotubos de carbono produzidos pelo Centro de Tecnologia em Nanotubos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Por fim, as ciências sociais também têm proporcionado importantes contribuições para a formulação de políticas públicas – três bons exemplos são o trabalho de economistas responsáveis pela formulação, nos anos 1990, da política de estabilização monetária que conteve a inflação brasileira de décadas; as investigações de sociólogos sobre desigualdade social, que inovaram o entendimento do mercado de trabalho; e a formulação e aplicação de modelos de avaliação de políticas públicas por economistas, sociólogos e cientistas políticos no Brasil.

## SAIBA MAIS

Para um relato mais detalhado de como a pesquisa básica desenvolvida no Brasil trouxe impacto econômico e social para o país, consulte o especial publicado na página da ABC:  
<[www.abc.org.br](http://www.abc.org.br)>.

# PAUTA PARA O FUTURO

Vive-se hoje a era das sociedades ou economias do conhecimento. Por isso, é cada vez mais importante investir em pesquisas nos temas de fronteira nas diferentes áreas da ciência. A ABC procurou levantar, junto à comunidade científica brasileira, quais seriam esses temas. A lista a seguir, embora não seja exaustiva, destaca alguns temas em que o Brasil poderia fortalecer sua participação científica.

## MATEMÁTICA

---

- Integração com outras áreas da ciência e suas implicações nas inovações tecnológicas e na solução dos problemas socioeconômicos do Brasil;
- Criptografia;
- Transmissão de sinais;
- Modelos econômicos;
- Modelagem climática;
- Modelos de competição entre espécies.

## FÍSICA

---

- Teoria da informação quântica;
- Ondas gravitacionais;
- Matéria escura;
- Avanços na astrofísica e nos novos experimentos realizados por telescópios internacionais;
- Desenvolvimento de novos e revolucionários materiais;
- Aplicações da ótica e da fotônica no diagnóstico e no tratamento em saúde;
- Desenvolvimento de sensores e outros equipamentos ligados à Internet das Coisas;
- Materiais e modelos para energias renováveis em diferentes escalas;
- Novas tecnologias nucleares;
- Física de materiais biológicos e dos sistemas fora do equilíbrio;
- Integração com outras ciências e com a realidade do setor produtivo.

## QUÍMICA

---

- Química verde;
- Química de materiais;
- Nanotecnologia e nanobiotecnologia;
- Bioenergia e biocombustíveis;
- Laboratórios de escalonamento primário e inovação – em especial a inovação decorrente da integração com as ciências da vida, do ambiente e da computação.

## ENGENHARIAS

---

- Tecnologias envolvendo ciências da vida, nanociência, ciência óptica, ciência de materiais e sistemas complexos;
- Tecnologias de informação e comunicação.

## CIÊNCIAS DA VIDA

---

- Biologia estrutural;
- Genômica e proteômica;
- Células-tronco;
- Neurociência;
- Biologia molecular de plantas e animais;
- Epigenética;
- Biologia sintética e de sistemas;
- Desenvolvimento de fármacos e medicamentos;
- Papel da microbiota na saúde e na doença;
- Biodiversidade e biomassa;
- Criomicroscopia eletrônica;
- Reconstrução tecidual;
- Humanização de tecidos e órgãos para xenotransplantes;
- Transgenia em plantas e animais;
- Infraestrutura para criação e experimentação animal;
- Desenvolvimento de métodos alternativos à experimentação animal;
- Genética e melhoramento de plantas;
- Genética, sanidade e produção animal;
- Controle biológico de pragas;
- Aquicultura e piscicultura;
- Interação com outras ciências, como as sociais aplicadas e ambientais, a administração e a economia.

## CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS

---

- Educação;
- Cidades sustentáveis;
- Segurança pública;
- Movimentos sociais;
- Democracia e organização política;
- Políticas públicas;
- Etnias indígenas;
- Questões de gênero e orientação sexual;
- Desigualdades sociais;
- Intolerâncias e questões raciais;
- Direito como eixo fundamental do equilíbrio social;
- Desafios da globalização;
- Tecnologia e sociedade;
- Comunicação;
- Pesquisas quantitativas ancoradas em grandes amostragens, incorporando modelos e instrumentos de tecnologias da informação para apropriação e manuseio de informação no *big data*.

Vale ressaltar que as áreas do conhecimento em que o Brasil já alcançou mérito e reconhecimento, como as ciências agrárias e da saúde, precisam continuar recebendo os recursos necessários para manter o país nessa posição.

Além disso, cabe notar que a ciência do século XXI é multi, inter e transdisciplinar. Por isso, é essencial que as agências de fomento desenvolvam políticas e sistemas de avaliação que reconheçam, valorizem e estimulem projetos com essas características.



# PASSOS PARA FORTALECER A PESQUISA BÁSICA

Ao longo deste capítulo, pretendeu-se deixar claro por que a ciência básica é fundamental para o desenvolvimento do Brasil e pode, no médio e no longo prazo, trazer enormes benefícios para o país. Visando atingir essa meta, a ABC recomenda ações do governo e apoio da sociedade no sentido de:

1

---

Aprimorar o ensino de ciências em todos os níveis, mas em especial na educação básica, e promover a aprendizagem por meio da resolução de problemas e da prática experimental;

2

---

Preservar o ensino das ciências básicas no ensino fundamental e médio;

3

---

Premiar jovens "Talentos nas Ciências Básicas";

4

---

Incentivar e divulgar prêmios para pesquisa fundamental apoiados pela ABC, voltados para a valorização da ciência na comunidade brasileira;

# 5

---

Financiar de forma adequada e satisfatória os institutos de pesquisa ligados ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), permitindo-lhes que estejam sempre na fronteira do conhecimento e focados em sua missão institucional;

# 6

---

Criar novos editais, em todas as áreas, ou manter editais de fomento à pesquisa em várias modalidades e áreas, em especial naquelas elencadas neste documento como estratégicas para a ciência no Brasil;

# 7

---

Criar editais destinados aos jovens pesquisadores brasileiros para que estabeleçam seus grupos de pesquisa;

# 8

---

Alocar recursos para a conclusão de projetos estruturantes, como o Reator Multipropósito e o projeto Sirius;

# 9

---

Criar facilidades para criação e experimentação animal em todo o país, dentro do que preconiza a lei;

# 10

---

Fomentar os laboratórios multiusuários nacionais de forma perene, garantindo-lhes insumos, contratação de pessoal especializado, manutenção e *upgrade* dos equipamentos;

---

11

---

Reestruturar e modernizar as instalações de pesquisa das universidades públicas brasileiras;

12

---

Incentivar empresas que queiram realizar P&D em suas dependências contratando mestres e doutores;

13

---

Criar bolsas de pesquisa, tecnológicas e de inovação para mestres e doutores dentro de empresas e outros setores não-acadêmicos;

14

---

Apoiar os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs);

15

---

Facilitar a importação de insumos e equipamentos de pesquisa;

16

---

Convocar a comunidade científica nacional para participar da elaboração de políticas públicas e ajudar na solução dos problemas genuinamente brasileiros;

# 17

---

Criar grupos de avaliação interdisciplinares que mensurem o impacto da ciência brasileira para o desenvolvimento econômico e social do país.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

GODIN, B.; DORÉ, C.. **Measuring the impact of Science: Beyond the economic dimension**. Quebec: CSIIC, 2005. Disponível em <[http://www.csiic.ca/PDF/Godin\\_Dore\\_Impacts.pdf](http://www.csiic.ca/PDF/Godin_Dore_Impacts.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2018.

MAZZUCATO, M. **O estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público x setor privado**. São Paulo: Portfolio - Penguin, 2014.

NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING. **The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century**. Washington: The National Academies Press, 2004.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (EUA). What is Basic Research? In: NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **The Third Annual Report of the National Science Foundation**. Washington: U. S. Government Printing Office, 1953. p. 38-48. Disponível em: <[https://www.nsf.gov/pubs/1953/annualreports/ar\\_1953\\_sec6.pdf](https://www.nsf.gov/pubs/1953/annualreports/ar_1953_sec6.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- [ii] ADAMS, J.; PENDLEBURY, D.; STEMBRIDGE, B.. **Building bricks**: Exploring the global research and innovation impact of Brazil, Russia, India, China and South Korea. Philadelphia: Thomson Reuters, 2013.
- [iii] WILSON, R. R. Congressional Testimony, April 1969. In: FERMILAB (EUA). **Fermilab History and Archives Project**. 1969. Disponível em: <<https://history.fnal.gov/testimony.html>>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- [iv] NATIONAL SCIENCE FOUNDATION (EUA). **NSF Report: Science & Engineering Indicators**. 2018. Disponível em: <<https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/report/sections/academic-research-and-development/highlights>>. Acesso em: 19 jan. 2018.
- [v] CLARIVATE ANALYTICS. Web of Science. Disponível em: <<http://login.webofknowledge.com>>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- [vi] MAZZUCATO, M.. **O estado empreendedor**: desmascarando o mito do setor público x setor privado. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.



---

# 2

## SAÚDE POR INTEIRO

---

DOENÇAS SÃO APENAS UMA PARTE  
DO CAMPO AMPLO DAS CIÊNCIAS DA SAÚDE

**T**er saúde não significa apenas não estar doente. Promover a saúde de uma população inclui, além de combater doenças, pensar em seu bem-estar físico, mental e social. Assim, os desafios da pesquisa em saúde são múltiplos e complexos, e requerem visão transdisciplinar: a pesquisa em saúde se alimenta de forma direta da pesquisa básica biomédica, da pesquisa clínica, da pesquisa em saúde coletiva e, cada dia mais, da pesquisa em física, química, matemática e estatística, além das ciências sociais e humanas, que possibilitam uma compreensão mais completa dos processos saúde-doença.

Antes que uma inovação na área da saúde esteja disponível para a população – um medicamento, por exemplo –, um longo caminho precisa ser percorrido, desde a identificação de um alvo terapêutico até a fabricação do fármaco, passando por diferentes etapas que incluem isolamento de um princípio ativo, testes de eficácia e segurança, desenvolvimento de métodos produtivos, entre outras. Por isso, diz-se que a pesquisa em saúde tem forte caráter translacional, ligando os laboratórios aos consultórios e hospitais para possibilitar que medicamentos, vacinas, métodos de diagnóstico, procedimentos terapêuticos e outros produtos sejam disponibilizados à sociedade.

Para que esse processo responda com agilidade aos desafios que se apresentam na saúde pública, é fundamental que exista infraestrutura adequada e recursos humanos qualificados para a pesquisa básica, translacional, clínica e epidemiológica. As colaborações internacionais também são um componente importante da pesquisa em saúde, uma vez que possibilitam combinar instrumentos e competências de vários países para alcançar objetivos comuns.





---

# ATENDIMENTO E PESQUISA EM SAÚDE NO BRASIL

A constituição brasileira garante a saúde como dever do Estado e direito do cidadão. O Brasil tem um complexo sistema de serviços de saúde, composto de três subsetores: o Sistema Único de Saúde (SUS), cujo objetivo é garantir o acesso integral e universal aos serviços de saúde financiados e oferecidos pelo Estado nos níveis federal, estadual e municipal; o subsetor privado, com ou sem fins lucrativos, no qual os serviços são financiados de várias formas, com recursos públicos e privados; e o subsetor de seguros de saúde, com diferentes configurações de planos de saúde. Segundo Paim e colaboradores,<sup>[1]</sup> o último subsetor é fortemente concentrado na região Sudeste, onde estão baseadas 61,5% das companhias de seguro de saúde. Embora 18,4% dos brasileiros possuam seguro de saúde privado e 6,1% tenham seguro para servidores civis, a maior parte da população (75%) depende exclusivamente do SUS.

Por isso, é natural que o fornecimento de conhecimentos científicos e inovações tecnológicas para o SUS esteja entre as prioridades da pesquisa em saúde. Além do desenvolvimento de medicamentos, equipamentos e outros insumos, é particularmente importante ter em mente a distribuição e a manutenção desses benefícios em todo o país – é fundamental que se discuta e entenda como financiar novas tecnologias e medicamentos sem, entretanto, perder a capacidade de fornecer serviços de saúde de qualidade e medicamentos apropriados para a população.

Uma preocupação crescente no âmbito econômico é a judicialização do direito à saúde, que envolve, entre outros aspectos, a cobertura mandatória dos gastos de medicamentos e procedimentos inéditos no Brasil, mas disponíveis no exterior. A ciência é crucial para mitigar o custo crescente dessa prática, pois pode viabilizar o desenvolvimento e a manufatura de produtos inovadores no país, acompanhando as linhas gerais do progresso mundial e dispensando a necessidade de importação. Dessa forma, a pesquisa em saúde se relaciona diretamente com a política industrial brasileira, incluindo seus mecanismos de patenteamento.

No âmbito científico, observou-se, desde o início dos anos 2000, um crescente investimento na estruturação de redes de pesquisa clínica centradas nos hospitais universitários públicos e tendo o SUS como cliente final dos resultados obtidos, no sentido de que o sistema público de saúde é o maior beneficiado pelos novos produtos e processos embasados pelas pesquisas. Essas redes têm incentivado a promoção de uma cultura de inovação nas práticas terapêuticas.

Porém, enquanto o processo de inovação de produtos é facilmente aferido e incorporado, a inovação de processos é ainda subestimada, apesar do grande impacto que pode ter sobre o cuidado dos pacientes. O desenvolvimento da área de processos e da gestão da assistência ao atendimento em saúde deve ser valorizado e envolver profissionais das humanidades, bem como formuladores de políticas públicas de saúde.

É fundamental ressaltar, também, que a pesquisa científica em saúde no Brasil se ressentida da flutuação marcante dos níveis de financiamento, com breves períodos de financiamento adequado e longos períodos de escassos e insuficientes investimentos. Tal situação é agravada pela frequente mudança de prioridades, o que acaba efetivamente resultando na ausência real de prioridades, pois todas elas são insuficientemente financiadas.



Crédito: Peter Illiciev/Fiocruz Imagens

A inovação nesse setor tem como peculiaridades o alto risco dos investimentos e o longo prazo necessário para desenvolvimento e eventual incorporação de novas práticas. Demonstrar a eficácia e a segurança de um novo medicamento, por exemplo, assim como equilibrar seu custo e eficiência, são tarefas que demandam tempo e recursos. Um prazo maior ainda é necessário para identificar efeitos tardios e eventos raros ligados ao uso de um novo fármaco. Por isso, é errônea a impressão de que o investimento nas pesquisas em saúde poderia rapidamente gerar melhorias para o SUS.

Por outro lado, é certo que, com o passar dos anos, o balanço seria positivo – vale lembrar, inclusive, que grandes avanços na área da saúde nasceram de pesquisas básicas que não buscavam resolver problemas específicos no curto prazo. Assim, uma visão estratégica na área da saúde deve, necessariamente, conter a ideia de financiamentos continuados e de longo prazo para pesquisa.

---

# PERSPECTIVAS PARA UM FUTURO PRÓXIMO

Que condições levariam o Brasil a um quadro de pesquisa científica em saúde mais robusta e mais estável? Para começar, como dito anteriormente, é crucial superar a limitação imposta pela falta de financiamento regular à pesquisa em saúde. Nesse sentido, seria interessante instituir políticas de Estado, além de estabelecer a articulação dos diversos órgãos financiadores – agências federais e estaduais, organismos internacionais etc. – e orientar o oferecimento de apoio com a ajuda de evidências científicas que contemplem, entre outros elementos, as necessidades do quadro epidemiológico, a competência científica dos grupos e a necessidade de capacitação de pessoal.

Também será crítico configurar estratégias para garantir a estabilidade dos recursos disponíveis, por meio de um pacto social que resista às variações do quadro político. Adicionalmente, devem ser implantados mecanismos eficientes de acompanhamento e avaliação do progresso realizado nos temas escolhidos.

Em relação à obtenção de dados para a pesquisa em saúde, um desafio bastante atual é o aproveitamento dos incontáveis registros gerados pela movimentação dos indivíduos nos sistemas de saúde, com incomensurável crescimento na produção e na acumulação de dados armazenados em bases digitais (*big data*). Há evidências de que a integração e o uso racional dessa imensa quantidade de dados pode ser uma das alternativas para os impasses hoje observados no campo das ciências da saúde.<sup>[iii]</sup> Porém, isso requer combinar dados de uma variedade de níveis (molecular, celular, tecidual, clínico, populacional), de múltiplas fontes e disciplinas, muitos dos quais existem em diferentes formatos.

O gerenciamento, a disponibilização, a qualidade, a consulta e o compartilhamento dessas informações, que possibilitariam o uso desses dados na pesquisa científica, dependem de abordagens que estão apenas começando a ser testadas, e que devem ser sensíveis a questões como o direito dos pacientes à privacidade. O esforço de desbloquear o imenso valor agregado à riqueza de informações clínicas e dados biológicos associados – atualmente armazenados e relativamente inertes nos bancos dos serviços de saúde –, embora hercúleo, pode constituir importante oportunidade para vencer insuficiências do sistema de ciência, tecnologia e inovação em saúde.

Por fim, outra questão bastante relevante em todas as áreas da ciência nos dias de hoje é o engajamento da sociedade – a interação bilateral entre cientistas e público em geral, com o objetivo de enriquecer o conhecimento de ambas as partes. Nas ciências da saúde, esse engajamento é particularmente importante, pois o objetivo final da pesquisa é melhorar as condições de vida da população. Principalmente no Brasil, onde a grande maioria dos recursos destinados à pesquisa médica vem do financiamento público, é essencial que a população compreenda o impacto que a ciência pode trazer para suas vidas, a fim de influenciar positivamente a manutenção das salvaguardas necessárias para o apoio adequado e o financiamento contínuo das pesquisas em saúde. É salutar, também, que a comunidade científica consiga se posicionar em relação às expectativas que a sociedade tem sobre sua atividade. Muitas das tensões existentes entre sociedade e cientistas podem ser resolvidas, ou mesmo evitadas, com uma boa comunicação entre ambas as partes.

## TEMAS PRIORITÁRIOS

Para uma proposta prática que possa balizar a pesquisa em saúde no Brasil nos próximos anos, a ABC levantou alguns temas que merecem especial atenção. Eles estão descritos a seguir.

## DOENÇAS INFECCIOSAS EMERGENTES, REEMERGENTES E NEGLIGENCIADAS

Nas últimas décadas, o desenvolvimento humano tem sido acompanhado por um aumento significativo da expectativa de vida da população, bem como pela diminuição da mortalidade infantil, pela melhora da qualidade de vida e pela diminuição de muitos tipos de infecções. Porém, essa transição epidemiológica acontece em ritmos variáveis nos diferentes países. No Brasil, embora houvesse uma expectativa de que agravos de natureza infecciosa diminuíssem cada vez mais ao longo dos anos e fossem substituídos por doenças crônicas não transmissíveis, observa-se um ainda enorme impacto de doenças emergentes, reemergentes e negligenciadas nas esferas socioeconômica e de saúde pública.

O aparecimento de epidemias recentes por influenza (H1N1), zika e chikungunya, o reaparecimento da dengue e da febre amarela e o recrudescimento da tuberculose são exemplos de novas infecções ou infecções já consideradas sob controle, mas que voltaram a colocar as populações em risco, apesar do desenvolvimento técnico-científico. As doenças negligenciadas – assim chamadas por não despertarem o interesse das grandes indústrias farmacêuticas –, incluindo doença de Chagas, leishmaniose, tuberculose, hanseníase, malária, hepatite C e esquistossomose, também merecem destaque na agenda de prioridades em pesquisa e desenvolvimento tecnológico em saúde no Brasil. Apesar de essas doenças serem endêmicas, especialmente nas populações de baixa renda, causando significativa morbidade e mortalidade no Brasil e em outros países em desenvolvimento, pouco é investido na pesquisa e no desenvolvimento de vacinas e novos fármacos para combatê-las. Nesse contexto, é fundamental estabelecer e manter mecanismos eficazes de vigilância e manejo para doenças antigas e novas.



Em 2015, a epidemia de zika suscitou resposta rápida e competente do meio científico e médico brasileiro a uma doença de relevância mundial – o que só foi possível porque havia um investimento prévio importante em infraestrutura, formação de pessoal e disponibilidade de recursos de custeio. A continuidade no investimento é fundamental para lidar com problemas existentes, mas também para preparar para o inesperado, como no caso da zika.

Interações complexas entre agentes infecciosos, hospedeiros e ambiente constituem as principais causas de emergência de doenças infecciosas; e a virulência ou potencial patogênico e epidêmico depende de uma combinação desses fatores, que incluem, por exemplo, desmatamento, degradação ambiental, aumento da exposição dos seres humanos aos vetores ou reservatórios da doença, aumento da densidade populacional, urbanização mal planejada, infraestrutura sanitária inadequada e alta mobilidade de pessoas pelo mundo. Além disso, a exposição a agentes antimicrobianos pode selecionar variantes resistentes aos fármacos.

Os desafios da pesquisa em saúde para lidar com essas doenças incluem o entendimento de mecanismos fisiopatológicos básicos, o conhecimento sobre agentes infecciosos e seus vetores, o desenvolvimento de modelos experimentais, os estudos de interação patógeno-hospedeiro e as pesquisas clínicas e epidemiológicas que envolvem doença, diagnóstico, tratamento e prevenção, com vistas à redução do impacto populacional desses problemas.



---

A ABC recomenda ter como prioridades:

# 1

---

Realizar pesquisas em doenças endêmicas, emergentes e reemergentes, tendo como foco o controle de vetores e a interação patógeno-hospedeiro – incluindo a pesquisa genética de patógenos, vetores e hospedeiros de importância epidemiológica para o Brasil, os estudos de caráter imunológico e bioquímico, a investigação de comorbidades e o estudo da interação entre os patógenos e a microbiota e os fatores nutricionais –, além da importância de aspectos ambientais e mecanismos de adoecimento;

# 2

---

Aumentar e aperfeiçoar a capacidade diagnóstica e a vigilância epidemiológica, incluindo a melhoria dos processos de armazenamento e acesso a bancos de dados em saúde;

# 3

---

Estimular estudos sobre a modelagem de doenças;

# 4

---

Investir no desenvolvimento de vacinas;

# 5

---

Apoiar o desenvolvimento de competências para o tratamento de sequelas de doenças emergentes ou reemergentes, como a síndrome da infecção congênita da zika;

# 6

---

Ampliar o conhecimento sobre a resistência de agentes infecciosos, incluindo a investigação dos processos ecológicos bacterianos e virais da resistência e a identificação de novos mecanismos antibióticos ou quimioterápicos.

## DOENÇAS CRÔNICAS

O declínio acentuado e contínuo dos níveis de fecundidade, associado à redução nas taxas de mortalidade nas diversas faixas etárias, tem alterado significativamente a estrutura etária da população brasileira, com uma tendência clara ao envelhecimento. Ao mesmo tempo, observa-se modificações no padrão alimentar, motivadas pelos avanços da economia e da distribuição de renda, além de um aumento do sedentarismo, em consequência de mudanças no perfil de ocupação profissional, o que tem contribuído para o crescimento da obesidade.

De 2000 a 2010, a população de idosos no Brasil passou de 14 milhões para 19,6 milhões, e a expectativa é que chegue aos 41,4 milhões em 2030.<sup>[iii]</sup> A prevalência da obesidade, por sua vez, cresceu de 5% da população, na década de 1970, para 20%, em 2016. Essa combinação de fatores tem profundas implicações para a saúde pública e representa desafios para a pesquisa na área.

Um deles é desvendar as complexas interações entre os problemas de saúde típicos de países em desenvolvimento e aqueles mais prevalentes em países industrializados, como doenças crônico-degenerativas – incluindo doenças cardiovasculares, metabólicas, neurodegenerativas e autoimunes.





---

O caso do câncer merece atenção especial, pois a incidência desse tipo de doença tem aumentado em todo o mundo, em parte devido à transição epidemiológica observada em países em desenvolvimento. O envelhecimento da população, com aumento progressivo da expectativa média de vida e da urbanização das populações, tem sido acompanhado de diminuição da taxa de natalidade e crescimento da taxa de consumo de álcool e tabaco, fatores que predis põem ao aparecimento de neoplasias. No Brasil, estima-se que, em 2025, diferentes tipos de câncer sejam a principal causa de mortalidade por doença na população.<sup>[iv]</sup>

Dada a grande heterogeneidade das doenças neoplásicas, o desenvolvimento da oncologia de precisão terá um impacto significativo na qualidade da assistência aos pacientes com câncer, permitindo um melhor tratamento com base nas características moleculares da doença que apresentam, no lugar das características morfológicas que hoje pautam o diagnóstico e o estadiamento dos tumores. Felizmente, ao longo dos anos, a letalidade dos cânceres mais prevalentes vem diminuindo em países desenvolvidos, e uma tendência similar começa a ser observada nos países em desenvolvimento. As pesquisas nesta área podem, então, passar a enfatizar os cânceres de alta letalidade, em especial aqueles prevalentes em indivíduos de até 40 anos. Paralelamente, devem ser implementadas medidas para estimular a pesquisa básica, translacional e clínica em neoplasias de interesse nacional, com foco em novos fármacos e imunoterápicos, áreas ainda pouco desenvolvidas no Brasil.

Entre os temas particularmente relevantes para os próximos anos estão doenças cardiovasculares e metabólicas, câncer – especialmente os mais frequentes ou de frequência crescente no Brasil –, doenças autoimunes e inflamatórias e doenças neurodegenerativas (demência/Alzheimer, Parkinson, esclerose lateral amiotrófica etc.).

## SAÚDE MATERNO-INFANTIL

No Brasil, a saúde e a nutrição das crianças melhoraram rapidamente a partir dos anos 1980. Numa avaliação sobre o atendimento das Metas do Milênio estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), verificou-se que a primeira e a quarta metas (reduzir pela metade o número de crianças subnutridas e diminuir em dois terços os coeficientes de mortalidade de crianças menores de cinco anos, respectivamente) foram alcançadas antes do prazo previsto – final de 2015.<sup>[v]</sup> O progresso na redução da mortalidade infantil seria ainda maior se não fosse limitado pelas altas taxas de prematuridade atualmente observadas no país.

Por outro lado, a queda nos índices de mortalidade materna não foi tão vertiginosa. Embora se tenha observado uma diminuição, ela esteve aquém da meta estabelecida, que era a de reduzir três quartos da mortalidade materna entre 1990 e 2015. Entre as causas desse fracasso estão o grande número de abortos ilegais, realizados em condições precárias, e o altíssimo índice de cesarianas, além do aumento na prevalência de hipertensão, diabetes e obesidade maternas.

Um balanço dos resultados alcançados, porém, revela elementos positivos. Por exemplo, as desigualdades regionais e socioeconômicas em termos de cobertura de intervenções, estado nutricional e outros indicadores de saúde materno-infantil diminuíram sensivelmente. Os principais fatores que contribuíram para isso incluem melhorias nos determinantes sociais (pobreza, educação de mulheres, urbanização e fecundidade), intervenções fora do setor de saúde (programa Bolsa Família e similares, abastecimento de água e saneamento etc.), criação de um sistema nacional de saúde unificado, com focalização da atenção primária em saúde nas populações previamente excluídas, e programas dirigidos a condições específicas, como doenças imunopreveníveis, diarreia e infecções respiratórias.

## SAÚDE EM GRANDES CENTROS URBANOS

A urbanização acelerada e pouco estruturada, o desequilíbrio ambiental e a desigualdade social apresentam grande impacto para a saúde e representam um enorme desafio. Segundo dados do Censo 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o país tem aproximadamente 200 milhões de habitantes e cerca de 80% das pessoas vivem em áreas urbanas. Além disso, pelo menos um terço da população reside nas 12 maiores regiões metropolitanas do Brasil.

Nessas grandes cidades, os problemas de saúde pública estão relacionados a degradação ambiental, risco de infecções emergentes e reemergentes, violência urbana, risco de acidentes de trânsito e estresse causado pelo estilo de vida, entre outros fatores. Destaca-se como especialmente relevante, também, o uso de drogas ilícitas, sobretudo a cocaína e o crack.

Uma visão integrada de saúde e doença deve levar em conta esses problemas e o impacto da vida em cidade sobre as pessoas. Por isso, a ABC sugere priorizar temáticas como saúde e ambiente; infecções emergentes e reemergentes; impacto da violência na saúde; acidentes de trânsito; abuso de drogas, incluindo álcool; e doenças ligadas ao estresse e transtornos psiquiátricos.



## DESENVOLVIMENTO DE MEDICAMENTOS, IMUNOBIOLOGICOS E TERAPIAS CELULARES

Nos últimos anos, o Brasil experimentou grandes avanços no entendimento das bases moleculares de doenças, identificando novos alvos e criando oportunidades para o desenvolvimento de terapias inovadoras. Entretanto, a tradução dos conhecimentos gerados sobre os mecanismos de doenças para a aplicação no diagnóstico e manejo clínico das mesmas apresenta limitações e problemas.

Como já foi argumentado neste capítulo, o desenvolvimento de novos fármacos, vacinas e terapias é um processo longo, complexo e que requer investimentos de alto risco e longo prazo. Mas, além de financiamento à pesquisa e infraestrutura, outros aspectos são de grande relevância para esse processo. Por isso, a ABC sugere ter como prioridades:



---

# 1

---

Investir em formação e capacitação de equipes multi e transdisciplinares que integrem pesquisadores em projetos colaborativos bidirecionais entre a bancada e a prática clínica – notadamente, aproximar pesquisadores que atuam nas áreas clínicas e de fisiopatologia, pesquisa translacional, farmacologia e química para permitir um fluxo mais linear e compacto de informação, com o objetivo de acelerar a identificação de alvos terapêuticos e o desenvolvimento de fármacos que atuem sobre esses alvos;

# 2

---

Promover a interação entre a academia e o setor produtivo;

# 3

---

Desenvolver e aperfeiçoar modelos pré-clínicos – isto é, modelos celulares, animais e outros que permitem estudar as doenças nas bancadas dos laboratórios antes de realizar estudos com pacientes – de doenças que sejam clinicamente relevantes;

# 4

---

Apoiar a consolidação e a capacitação de redes de pesquisa clínica;

5

---

Otimizar e descentralizar os processos regulatórios;

6

---

Prospectar e desenvolver novos princípios ativos;

7

---

Descobrir novos alvos terapêuticos por meio de estudos clínicos que combinem genômica, proteômica e outras abordagens com estudos pré-clínicos e de prospecção;

8

---

Prospectar novas indicações terapêuticas para fármacos já aprovados (reposicionamento de fármacos);

9

---

Promover pesquisas na área de farmacogenética, farmacogenômica e desenvolvimento de imunobiológicos;

10

---

Desenvolver mecanismos de implantação e aplicação racional de terapias avançadas, incluindo células-tronco pluripotentes, engenharia de tecidos, terapia gênica e modificação genética de vetores (veja o quadro “Terapias do futuro”).

---

## TERAPIAS DO FUTURO

Uma área particularmente promissora da pesquisa em saúde é a medicina regenerativa, em especial devido às tecnologias de terapias celular e gênica. A primeira consiste na administração de células íntegras, enquanto a segunda reúne um conjunto de estratégias de modificação da expressão gênica ou de correção de genes anormais.

Os dois processos são convergentes e podem atuar em conjunto, por exemplo, no âmbito da engenharia tecidual, que tem como objetivo recompor órgãos ou estruturas multicelulares para fins terapêuticos.

Atualmente, o principal foco da terapia celular é a produção de células-tronco de pluripotência induzida (iPS, na sigla em inglês). A técnica consiste em coletar células de um paciente e, por meio da reprogramação celular, fazê-las voltar ao estágio de células-tronco, a partir do qual podem ser transformadas em outros tipos celulares – assim, uma célula da pele ou da urina, por exemplo, pode ser transformada em célula nervosa. Com essa técnica, são criados em laboratório organoides tridimensionais que simulam características dos tecidos-alvo de estratégias terapêuticas, como os minicérebros que foram fundamentais no estudo dos impactos do vírus Zika sobre o sistema nervoso em desenvolvimento.<sup>[x]</sup>

Outro avanço recente de enorme relevância, obtido a partir do sequenciamento do genoma humano e da identificação de genes-chave para diversas doenças, é o progresso vertiginoso de técnicas de edição gênica, como CRISPR/Cas9, que oferecem novas perspectivas para o manejo de doenças hereditárias ou adquiridas. A relativa facilidade de uso desta última tem impacto potencial em outros aspectos ligados à saúde, como a criação de modelos animais mais específicos para doenças humanas, a manipulação genética de transmissores de doenças infectocontagiosas e as aplicações da biotecnologia à agropecuária. Os primeiros ensaios clínicos humanos utilizando edição genômica pela CRISPR/Cas9 para doenças hereditárias deverão ser iniciados na Europa e nos Estados Unidos ainda em 2018.

Em resumo, os avanços recentes no estudo de terapias celular e gênica têm aumentado a expectativa de que esses tratamentos venham a substituir as terapias pouco eficazes disponíveis hoje para muitas doenças. A aplicação dessas novas tecnologias dependerá da atenção a uma gama de aspectos, incluindo a segurança, a eficácia e a precisão no direcionamento das células e genes terapêuticos; a regulamentação e o depósito de patentes; e os aspectos éticos ligados a essas pesquisas. Unidades de pesquisa, órgãos reguladores e a sociedade como um todo vão precisar agir de forma colaborativa para que essas promessas se tornem realidade.

## MEDICINA DE PRECISÃO

Relativamente recente,<sup>[vi]</sup> esta área está relacionada aos conceitos de medicina genômica e medicina personalizada. Por um lado, o crescente entendimento das complexas interações entre mecanismos genéticos, ambientais e de comportamento no desenvolvimento de doenças levantam questões sobre a necessidade de desenvolver marcadores e abordagens personalizados de prevenção e tratamento. Por outro, a medicina de precisão tem como princípio a coleta, o processamento, o armazenamento e o compartilhamento de um grande conjunto de dados – obtidos de pacientes, indivíduos saudáveis, meio ambiente, microrganismos e outros – que deve ser capaz de gerar conhecimento sobre os processos biológicos envolvidos nas enfermidades, o que, se espera, eventualmente poderá levar ao desenvolvimento de terapias mais eficientes, voltadas a mecanismos específicos de doença.

A medicina de precisão apresenta, portanto, um enorme desafio para compreender e aplicar o conhecimento sobre a variabilidade individual em genes, ambiente e estilo de vida, visando ao tratamento e à prevenção de doenças. Para o avanço neste tema, sugere-se:





---

1

---

Incorporar as ciências “ômicas” – genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica, entre outras – na pesquisa e na atenção à saúde;

2

---

Caracterizar componentes genéticos e ambientais das doenças de maior relevância para o Brasil;

3

---

Integrar genética médica, aconselhamento genético e diagnóstico pré-natal;

4

---

Identificar as peculiaridades da constituição demográfica e genômica da população brasileira que possam ter efeito relevante nos aspectos relativos a saúde e doença;

5

---

Investir na pesquisa sobre câncer e doenças psiquiátricas;

6

---

Desenvolver a infraestrutura necessária para coleta, armazenamento seguro, análise e compartilhamento ético de dados genômicos, fisiológicos, clínicos, de exposição ambiental e do microbioma de grandes coortes de indivíduos.

# DESAFIOS TRANSVERSAIS NAS CIÊNCIAS DA SAÚDE

Além dos temas específicos em cada área da saúde, é preciso repensar alguns aspectos que afetam todas elas. Um problema mundial que mais recentemente se tornou agudo é a “crise de reprodutibilidade” da ciência como um todo e da pesquisa médica básica e clínica em especial.<sup>[vii]</sup> Segundo o periódico *Nature*, a existência desta crise é reconhecida por 90% dos cientistas questionados sobre ela.<sup>[viii]</sup>

Ioannidis<sup>[ix]</sup> mostrou que, de 49 estudos clínicos publicados no período 1990-2003, cada um com mais de 1000 citações, 32% não podiam ser completamente replicados. Por isso, uma preocupação importante da comunidade científica brasileira deve ser estimular mecanismos de confiabilidade e integridade dos estudos biomédicos básicos, pré-clínicos e clínicos realizados no país. Em outras palavras, a própria metodologia da pesquisa médica deverá se tornar objeto de pesquisa em saúde.

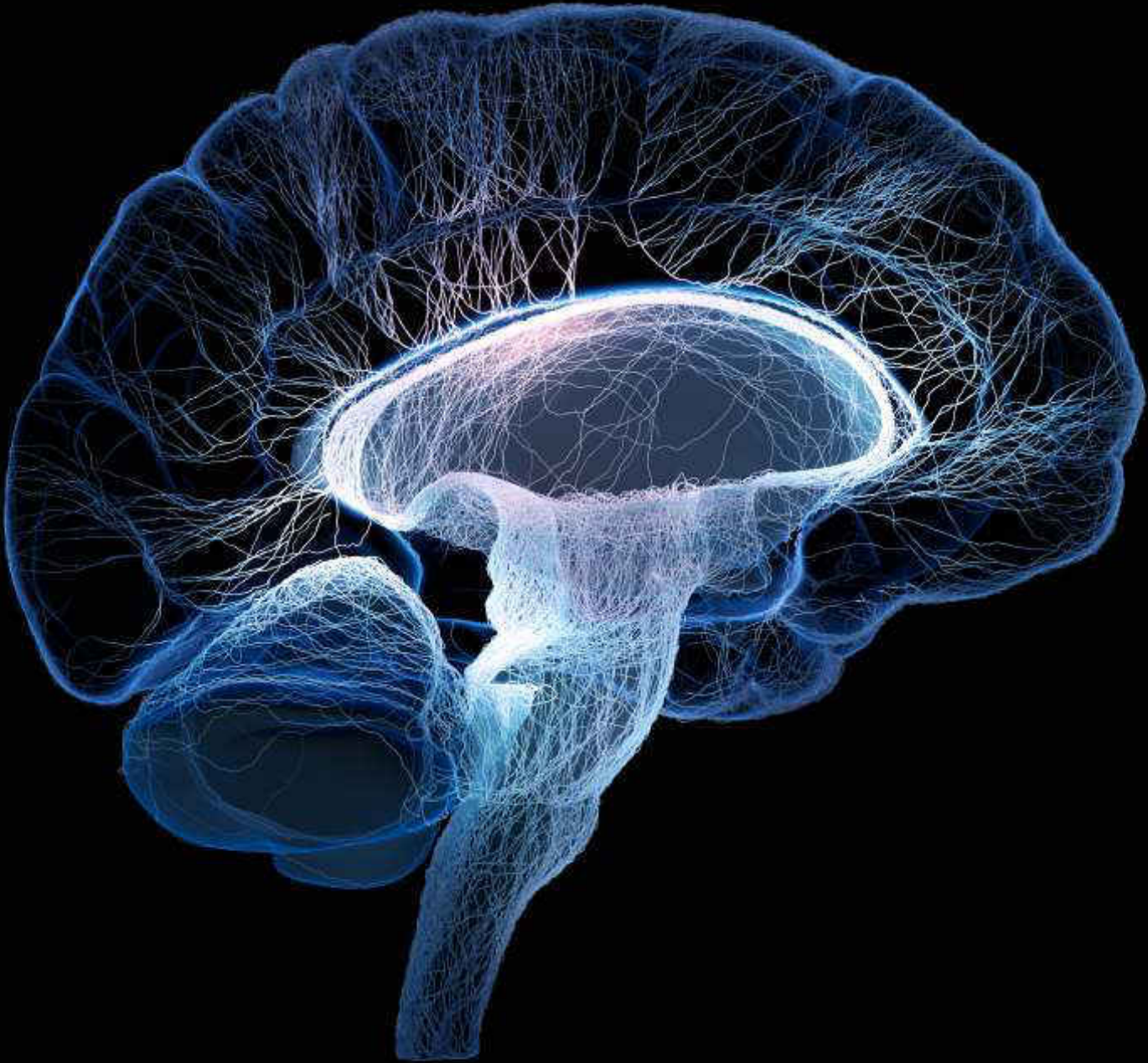
## SUGESTÕES PARA LEITURA

KRIEGER, E. M.; BARCINSKI, M. A. (Coords.). **Medicina translacional: conceitos e estratégias**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 56p. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6842.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

SOUZA, W. (Coord.). **Doenças negligenciadas**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2010. 58 p. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-199.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] PAIM, J. et al. The Brazilian health system: history, advances, and challenges. **The Lancet**, [s.l.], v. 377, n. 9779, p.1778-1797, maio 2011. Elsevier BV. <[http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736\(11\)60054-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0140-6736(11)60054-8)>.
- [ii] SCIENCE EUROPE. Medical Sciences Committee. **How to Transform Big Data into Better Health: Envisioning a Health Big Data Ecosystem for Advancing Biomedical Research and Improving Health Outcomes in Europe (Workshop Report)**. Erice: Science Europe, 2014. 24 p. Disponível em: <[https://www.scienceeurope.org/wp-content/uploads/2015/12/Workshop-Report\\_MED\\_Big\\_Data\\_web.pdf](https://www.scienceeurope.org/wp-content/uploads/2015/12/Workshop-Report_MED_Big_Data_web.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [iii] BORGES, G. M.; ERVATTI, L. R.; JARDIM, A. P. (Orgs.). **Mudança demográfica no Brasil no início do século XXI: subsídios para as projeções da população**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.
- [iv] INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Estimativa 2018: Incidência de Câncer no Brasil**. Disponível em: <<http://www.inca.gov.br/estimativa/2018/>>. Acesso em: 11 abr. 2018.
- [v] ODM BRASIL. **O Brasil e os ODM**. Disponível em: <<http://www.odmbrasil.gov.br/o-brasil-e-os-odm>>. Acesso em: 12 abr. 2018.
- [vi] COLLINS, F. S.; VARMUS, H.. A New Initiative on Precision Medicine. **The New England Journal Of Medicine**, [s.l.], v. 372, n. 9, p.793-795, 26 fev. 2015. <<http://dx.doi.org/10.1056/nejmp1500523>>.
- [vii] NATURE. **Challenges In Irreproducible Research**. Disponível em: <<https://www.nature.com/news/reproducibility-1.17552>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [viii] BAKER, M.. 1,500 scientists lift the lid on reproducibility. **Nature**, [s.l.], v. 533, n. 7604, p.452-454, 25 maio 2016. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/533452a>>.
- [ix] IOANNIDIS, J. P. A.. Contradicted and Initially Stronger Effects in Highly Cited Clinical Research. **JAMA**, [s.l.], v. 294, n. 2, p.218-228, 13 jul. 2005. American Medical Association (AMA). <<http://dx.doi.org/10.1001/jama.294.2.218>>.
- [x] GARCEZ, P. P. et al. Zika virus impairs growth in human neurospheres and brain organoids. **Science**, [s.l.], v. 352, n. 6287, p.816-818, 10 abr. 2016. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.aaf6116>>.



---

# 3

## POR DENTRO DO CÉREBRO

---

DESAFIOS DA NEUROCIÊNCIA  
PARA UM BRASIL MAIS DESENVOLVIDO



Identificar doenças psiquiátricas antes que seus sintomas apareçam; compreender como o cérebro humano aprende e usar esse conhecimento para criar metodologias mais eficientes para a educação; desenvolver tecnologias de inteligência artificial capazes de auxiliar pessoas com deficiência em diferentes tarefas cotidianas – todos esses são exemplos de áreas de atuação da neurociência, campo científico que agrupa diversas modalidades de estudo do sistema nervoso, do qual o cérebro é o ator principal. No mundo todo, ela desponta como área estratégica para o avanço do conhecimento.

Diferentes estudos de neurociência preocupam-se não apenas em aumentar, de forma consistente, nosso conhecimento sobre a estrutura e o funcionamento do cérebro normal, mas também em desvendar os mecanismos associados a doenças neurológicas e psiquiátricas, como Alzheimer, Parkinson, depressão, esquizofrenia e muitas outras. O grande interesse nessa área é compartilhado pelos profissionais e pesquisadores em saúde e também pelo setor industrial, para o qual apresenta importantes oportunidades de inovação.

O interesse reside no fato de que conhecer melhor o sistema nervoso abre portas para interferir em seu desenvolvimento ou mau funcionamento, por exemplo, prevenindo doenças ou desacelerando o aparecimento de sintomas nocivos. Para além da abordagem médica, a neurociência traz também a possibilidade de um aproveitamento ótimo do cérebro humano na educação e em outras atividades, e da elaboração de dispositivos tecnológicos que pretendam mimetizá-lo.

Diante desse cenário de entusiasmo com os enormes retornos que a neurociência poderia trazer para o Brasil, a ABC sugere quatro temas prioritários de estudo para o avanço deste campo, descritos a seguir.

# NEUROCIÊNCIA A SERVIÇO DA EDUCAÇÃO

Desde o útero materno, o cérebro humano, como os outros órgãos, segue um roteiro de desenvolvimento pré-estabelecido pelos genes de cada indivíduo. Em outras palavras, o material genético de cada pessoa carrega a receita de fabricação de cada parte de seu corpo, e o cérebro não é exceção. Porém, uma característica fascinante desse processo é que o desenvolvimento do sistema nervoso central pode ser influenciado pelo ambiente ao redor dos indivíduos – inicialmente, o microambiente onde se aloja o embrião e depois o feto, mas também o ambiente familiar ou a própria sociedade na qual se vive após o nascimento e ao longo de toda a vida.

## CÉREBRO QUE SE TRANSFORMA

À capacidade que o cérebro tem de se adaptar ao ambiente externo dá-se o nome de neuroplasticidade, e ela está presente não apenas nos humanos, mas também em todos os seres vivos que possuem neurônios. Em homens e mulheres, porém, atinge o ápice – o que pode explicar, em parte, por que nossa espécie foi tão bem-sucedida em ocupar o planeta e dominar a natureza.

Estudos sobre neuroplasticidade já conseguiram demonstrar, por exemplo, como os neurônios conseguem armazenar e utilizar informações provenientes do ambiente.<sup>[i]</sup> Outros trabalhos debruçaram-se sobre como as redes de neurônios interligam as diferentes regiões cerebrais para gerar pensamentos e emoções, e como a vida em sociedade é capaz de otimizar esse processo.<sup>[ii]</sup>



Na prática, isso implica que, além dos genes, o ambiente onde as pessoas vivem influencia, de fato, o desenvolvimento do seu cérebro. Conhecendo os mecanismos por trás desse processo, a neurociência torna-se capaz de propor intervenções, muitas vezes simples e de baixo custo, capazes de proporcionar um desenvolvimento cerebral mais saudável. Por exemplo, pesquisadores descobriram que praticar exercícios físicos<sup>[iii]</sup> e dormir de forma adequada<sup>[iv]</sup> fazem com que as crianças tenham um desempenho escolar melhor. Esse é exatamente o tipo de conhecimento gerado pela neurociência que poderia embasar políticas públicas com vistas à melhoria da educação no Brasil.

Como a adaptação do cérebro ao ambiente persiste durante toda a vida, a relevância do conhecimento em neurociência vai além da infância. E, para falar a verdade, vai além do próprio cérebro humano, pois o conhecimento das redes neurais pode se transformar em inteligência artificial, gerando produtos de alta interatividade e capacidade educacional.

Por essa razão, é necessário que o Brasil estabeleça um forte e ambicioso programa de pesquisa translacional – isto é, que vá desde a bancada do laboratório até a aplicação prática do conhecimento gerado – em neurociência. Para isso, é fundamental buscar um formato de política de fomento que permita integrar os aspectos mais básicos da compreensão da mente e do cérebro humanos ao desenvolvimento de novas práticas e tecnologias educacionais.

Um exemplo simples: é preciso compreender melhor como as pessoas aprendem, e por que algumas têm dificuldade de aprender. Ao mesmo tempo, é preciso também inventar novos meios de acelerar a aprendizagem, de um modo que beneficie a todos e aumente a igualdade de oportunidades educacionais, inclusive para as crianças em situação mais vulnerável, seja pela pobreza ou por transtornos neuropsiquiátricos incapacitantes.

Unir o conhecimento básico e a aplicação prática é um caminho possível para aproximar a comunidade de neurocientistas brasileiros, que já compõe uma massa crítica importante, das escolas espalhadas pelo país, onde muitas vezes os professores trabalham em condições precárias e insuficientes. As metas desse movimento articulado de política pública poderiam ser:





1

---

Compreender os mecanismos moleculares, celulares, multicelulares, cerebrais e intercerebrais do desenvolvimento e da neuroplasticidade que permitem a aprendizagem, abordando tanto os mecanismos normais como aqueles alterados por transtornos específicos;

2

---

Desenvolver processos que aumentem a eficiência do ensino e possibilitem acelerar a aprendizagem das crianças, tanto individualmente quanto no ambiente familiar e escolar;

3

---

Estimular a criação de empresas inovadoras que gerem produtos de base neurotecnológica capazes de instrumentar pais, professores e gestores públicos a obterem melhores resultados na formação de cidadãos integrados à sociedade e ao mercado de trabalho;

4

---

Buscar soluções terapêuticas que possibilitem um melhor aproveitamento escolar de crianças e jovens com transtornos de aprendizagem, contribuindo, assim, para uma política inclusiva em que todos os cidadãos tenham iguais oportunidades de usufruir dos equipamentos sociais.

# CÉREBRO, SAÚDE E DOENÇA

Em 2006, a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou um importante alerta às nações<sup>[v]</sup> sobre o alto custo econômico e social dos distúrbios do sistema nervoso. Nesse documento, estimou-se que, em 2030, não só as taxas de mortalidade por doença neurológica seriam altas, podendo chegar a 15% de todas as causas de morte, mas – ainda mais importante – o custo econômico dos casos não fatais se elevaria muito devido ao caráter crônico e incapacitante dos males de Parkinson e Alzheimer, da epilepsia e de outras doenças neurodegenerativas. O documento da OMS faz notar que, se considerado o grau de incapacitação física ou intelectual que acompanha os distúrbios neurodegenerativos e neuropsiquiátricos, seu peso econômico ultrapassará os custos de doenças como os distúrbios cardiovasculares, o câncer e o HIV/Aids. De 2006 para cá, um novo dado preocupante se revelou: o alto custo, também, das manifestações neurológicas associadas às arboviroses – como a microcefalia associada à zika, com impacto recente e significativo no Brasil.

O alerta da OMS e os dados alarmantes que o seguiram ressaltam a importância de se estudar as doenças neurodegenerativas, e de fato muitos estudos foram realizados sobre elas no mundo inteiro. Graças a eles, avanços tecnológicos têm permitido à medicina contemporânea estabelecer diagnósticos mais precisos e precoces dos distúrbios neurológicos e neuropsiquiátricos. O tratamento dessas doenças, no entanto, é capaz apenas de controlar ou mitigar suas manifestações clínicas e sintomas.

Tratamentos que visem, de fato, à cura dos pacientes estão ainda num horizonte longínquo. Para chegar até eles, será necessário compreender os mecanismos subjacentes de cada sinal ou sintoma das doenças que afetam o sistema nervoso central, o que implica desvendar características genéticas, moleculares e celulares, além da morte dos neurônios em circuitos específicos, como os envolvidos em funções como sensação, movimento e processos cognitivos e emocionais.

Trata-se, portanto, de um vasto domínio a ser explorado ainda pela pesquisa científica. Para que o Brasil seja protagonista nesse processo, sugere-se:

1

---

Ampliar as investigações sobre as causas e relações genéticas das doenças de origem neurológica;

2

---

Buscar marcadores que possam indicar predisposição às doenças neurobiológicas, com vistas à instituição de tratamento preventivo;

3

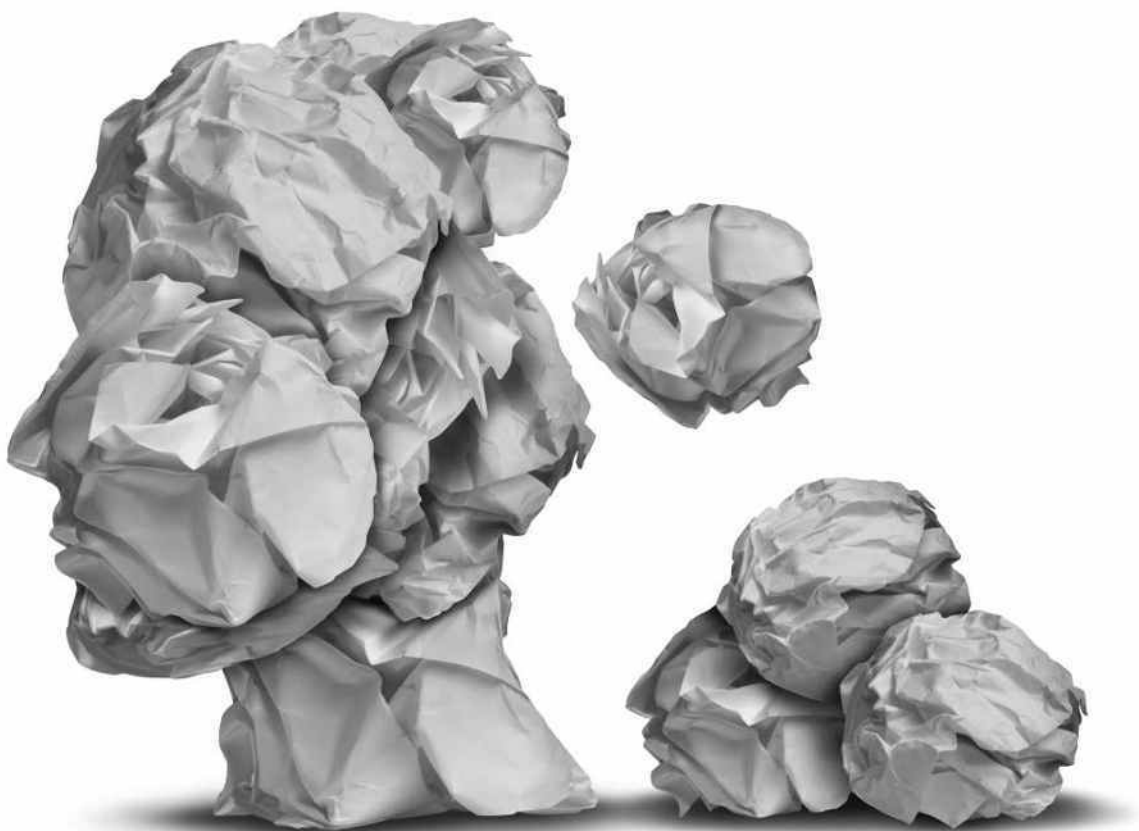
---

Entender em profundidade as bases fisiopatológicas dos distúrbios neurológicos, visando subsidiar alternativas clínicas e terapêuticas;

4

---

Reconhecer e compreender as populações de risco, desde o desenvolvimento até o envelhecimento, de modo a tratar ou mitigar os efeitos dos distúrbios neurológicos nesses públicos específicos.



# NEUROTECNOLOGIAS DO FUTURO

Foi-se o tempo em que a integração entre cérebro humano e máquinas era domínio exclusivo da ficção científica. Com o avanço cada vez mais rápido das tecnologias, já é uma realidade que as máquinas são capazes, inclusive, de auxiliar o avanço do conhecimento – por exemplo, a compreensão do funcionamento da cognição humana, com a possibilidade de simulação computacional da mesma; o desenvolvimento de técnicas eficientes e escaláveis para o diagnóstico de doenças cerebrais; e o tratamento e aprimoramento das funções neurais são áreas em que essa parceria trouxe e trará enormes ganhos.

Como diversos pensadores previram – entre eles Isaac Asimov,<sup>[vi]</sup> Philip K. Dick<sup>[vii]</sup> e Ray Kurzweil<sup>[viii]</sup> –, hoje resta pouca dúvida sobre o fato de que a inteligência artificial poderá, em breve, substituir a inteligência humana em tarefas cada vez mais complexas. Mas qual seria a melhor forma de planejar e fazer uso dessas potencialidades em prol de políticas públicas e do avanço social, econômico e científico no Brasil? Essa é uma questão ainda em aberto, sobre a qual é necessário refletir.

E mais: é importante salientar que a distância crescente entre a situação econômica e social do Brasil e a dos países desenvolvidos pode resultar em um verdadeiro abismo na área das neurotecnologias, cujo desenvolvimento depende de forte interação entre a neurociência fundamental e aplicada e a indústria – tanto *startups* quanto grandes empresas. Esse ciclo virtuoso, já bem estabelecido em vários lugares do mundo, é uma espiral ascendente de grande velocidade, à qual é preciso aderir para não perder definitivamente a capacidade de alcançar o grupo de países mais prósperos e competitivos.

Portanto, sugere-se a adoção de uma política forte e propositiva, capaz de resultar em uma cooperação ativa e profícua entre os setores governamentais e privados do Brasil, de maneira a inaugurar uma nova era de progresso científico aplicado às neurotecnologias. Para isso, será crucial que três dos grandes setores produtivos – tecnológico, biotecnológico e de saúde –, que hoje respondem por uma parcela substancial do PIB brasileiro, sejam incentivados a interagir com a comunidade científica.

Evidentemente, para que se interesse e realize investimentos substanciais nessa área, o setor produtivo precisa vislumbrar ganhos futuros com a neurociência. A criação de programas de intercâmbio científico e tecnológico entre a academia, as agências de fomento e o setor produtivo (empresas, incubadoras, aceleradoras, fundos) será uma mola propulsora para atingir este objetivo em tempo hábil e tornar o Brasil competitivo no cenário internacional.

No que concerne ao desenvolvimento de neurotecnologias no Brasil, a ABC recomenda:

# 1

Incentivar colaborações interdisciplinares entre cientistas de diversas áreas do conhecimento – em especial engenharia, computação, medicina e biologia –, visando criar soluções inovadoras para o desenvolvimento de neurotecnologias relevantes a todas as esferas da vida social, incluindo educação, saúde, ambiente corporativo e políticas públicas, entre outros, com destaque para a integração das neurociências com a biotecnologia, a microeletrônica e a ciência de dados;

# 2

Fomentar parcerias entre neurocientistas e a área clínica e farmacêutica, de forma a permitir a transferência do conhecimento da academia para a prática clínica e terapêutica, em práticas como diagnóstico, tratamentos, reabilitação etc;

# 3

Fortalecer programas de cooperação internacional focados em produtos científico-tecnológicos, de forma a acelerar a transferência tecnológica e científica com centros de excelência acadêmica e empresarial de países desenvolvidos;

# 4

Fomentar o empreendedorismo neurotecnológico, estimulando a formação de grupos de jovens inventores e inovadores (por exemplo, em comunidades *makerspace* e em *fab-labs*, já presentes no Brasil) que despertem o interesse de estudantes de ensino médio e superior na busca de soluções terapêuticas para sintomas e deficiências neurológicos e neuropsiquiátricos e de inovações tecnológicas para melhoramento comportamental e cognitivo (métodos de mensuração de sinais neurais e autonômicos, *gamificação*, realidade virtual e aumentada, neuroestimulação etc.).



## SEIS TEMAS PRIORITÁRIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DE NEUROTECNOLOGIAS

1. *Softwares* para aquisição, processamento e análise de dados, simulações computacionais e interfaces entre dispositivos de registro da atividade cerebral e outros equipamentos, como computadores e robôs.

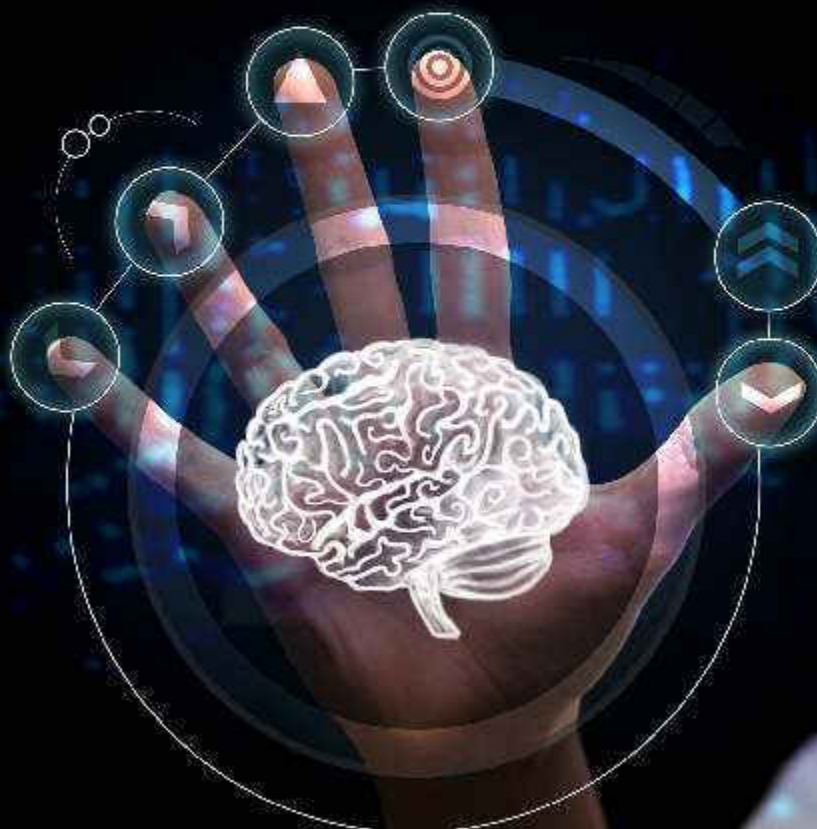
2. Técnicas de computação cognitiva, isto é, desenvolvimento de computadores que pensam quase como seres humanos, inclusive aprendendo com a própria experiência de processamento. O recente desenvolvimento das técnicas de *deep learning* (tipo de aprendizado estruturado de alta complexidade) e o aprimoramento nos métodos de processamento de linguagem natural e visão computacional têm-se mostrado extremamente promissores para as aplicações da inteligência artificial no cotidiano, e as técnicas podem ser ainda mais aprimoradas unindo conhecimentos das áreas de neurociência e psicologia cognitiva. O desenvolvimento dessas ferramentas é de grande relevância para a análise de grandes bases de dados (*big data* e *data mining*), com aplicações em muitas áreas.

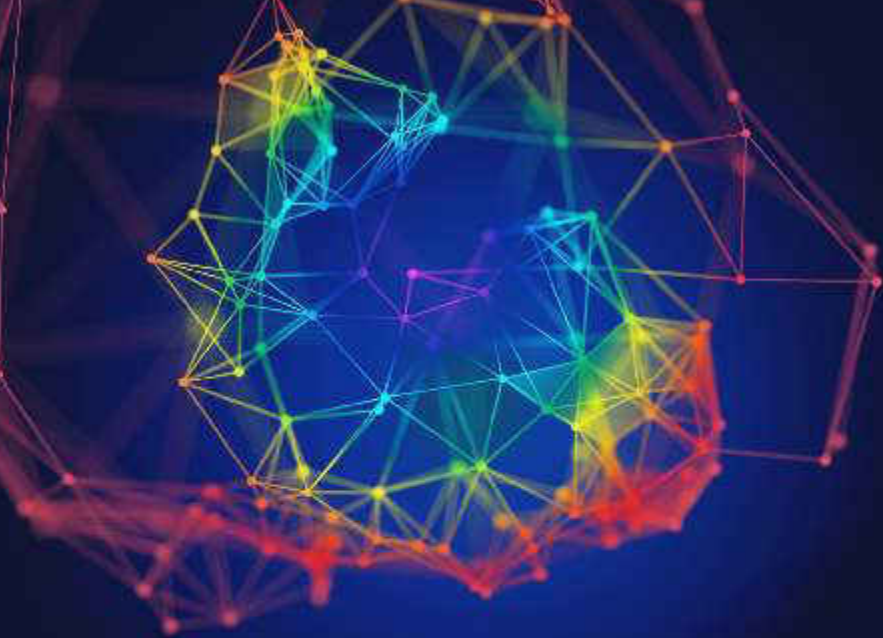
3. Tecnologias para registro de atividade neuronal em seres humanos e outros animais, seja no próprio animal vivo ou em fragmentos de tecido cerebral mantidos em laboratório. A interação entre áreas de neuroengenharia, neurobiologia molecular e nanociências é crucial para o progresso neste campo.

4. Tecnologias de neuromodulação que permitem a manipulação da atividade e do funcionamento de redes neuronais. Métodos como *neurofeedback*, estimulação eletromagnética e por corrente contínua, farmacogenética e optogenética são capazes de revelar a atividade de neurônios isolados, grupos de neurônios e redes cerebrais complexas, além de estimulá-los elétrica ou magneticamente para simular os seus efeitos. Esses métodos, no entanto, ainda estão em seus estágios iniciais de desenvolvimento, embora já constituam ferramentas promissoras para aplicações clínicas.

5. Métodos de aquisição de neuroimagens. Os recentes avanços nas tecnologias de imageamento funcional e estrutural do cérebro humano resultaram em uma revolução no conhecimento sobre a relação cérebro-comportamento, sobre a neurobiologia de doenças neurológicas e psiquiátricas e sobre os mecanismos de ação de medicamentos e outras terapias sobre o cérebro. As tecnologias de PET (tomografia de emissão de pósitrons), SPECT (tomografia de emissão de fóton único), NIRS (espectroscopia de infravermelho próximo), ressonância magnética, MEG (magnetoencefalografia) e EEG (eletroencefalografia), bem como a utilização simultânea de várias dessas técnicas, têm contribuído de forma significativa para esse conhecimento, e seu emprego e desenvolvimento precisa ser estimulado no Brasil.

6. Ferramentas computacionais inteligentes para as áreas de telecomunicações, educação e comércio. O setor produtivo, de forma independente ou em parceria com o setor acadêmico, deve investir no desenvolvimento e na aplicação dessas ferramentas, com enorme potencial de ganhos de escala e eficiência em diferentes tarefas (por exemplo, programas que simulam seres humanos na interação com pessoas – *chatbots*).





# NEUROCIÊNCIA E O BRASIL DE AMANHÃ

O futuro aponta para a revelação da mais avançada fronteira do conhecimento humano: os mecanismos do cérebro que interagem com os ambientes natural e social. Aponta, também, para a consequente criação de novos produtos e processos que farão uso desse conhecimento para aprimorar a educação, prevenir e tratar doenças neuropsiquiátricas, criar máquinas inteligentes cada vez mais eficientes no setor produtivo e otimizar a comunicação humana, entre outras aplicações. Fica claro, assim, o papel central da neurociência para o desenvolvimento do Brasil.

Com a proximidade de uma nova década, a ABC tem convicção de que é preciso preparar o país para um impulso decisivo no fomento às ciências do cérebro. Por isso, sugere aos governantes e legisladores brasileiros que inaugurem formalmente uma Década do Cérebro 2020-2030 – dez anos para prestar atenção especial à neurociência e a todos os benefícios que ela pode trazer para o Brasil.

Durante esse período, será recomendável mobilizar os instrumentos de gestão e política científica do país para elaborar um conjunto de ações de fomento, educação e divulgação pública das neurociências, que permita alocar recursos de grande porte para impulsionar essa importante área do conhecimento. Em particular, será decisivo estimular interações com profissionais de comunicação, artes e ciências humanas, de modo a potencializar a disseminação da relevância da neurociência para a sociedade brasileira.

Antes que essa década especial se inicie, no entanto, é preciso preparar o país para celebrá-la com propriedade, fomentando, desde já e de forma prioritária, o estudo da neurociência, com foco nas áreas de atuação descritas acima.



---

## SUGESTÕES PARA LEITURA

BASSETT, D.S.; SPORNS, O. Network neuroscience. **Nature Neuroscience**, 20 (3), pp. 353-364, Feb 2017.

BRAIN Working Group (Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies). **Interim Report**. United States: National Institutes of Health, 2013. Disponível em: <<https://www.braininitiative.nih.gov/>> Acesso em 06 dez 2017.

CHANGEUX, J.P. Climbing brain levels of organization from genes to consciousness. **Trends in Cognitive Sciences**, 21 (3), pp. 168-181, Mar 2017.

FRÉGNAC, Y. Big data and the industrialization of neuroscience: A safe roadmap for understanding the brain? **Science**, 358 (6362), pp. 470-477, Oct 2017.

HBP (Human Brain Project). **The Human Brain Project and its Mission**. Geneva: European Union, 2017. Disponível em: <[https://sos.exo.io/public-website-production/filer\\_public/6f/6f/6f6f21de-4f60-492c-b646-0000e48b5cf1/hbp\\_overview\\_november\\_2017.pdf](https://sos.exo.io/public-website-production/filer_public/6f/6f/6f6f21de-4f60-492c-b646-0000e48b5cf1/hbp_overview_november_2017.pdf)> Acesso em 06 dez 2017.

KANDEL, E.R.; MARKRAM, H.; MATTHEWS, P.M.; YUSTE, R.; KOCH, C. Neuroscience thinks big (and collaboratively). **Nature Reviews Neuroscience**, 14 (9), pp. 659-664, Sep 2013.

SIGMAN, M.; PEÑA, M.; GOLDIN, A.P.; RIBEIRO, S. Neuroscience and education: prime time to build the bridge. **Nature Neuroscience**, 17 (4), pp. 497-502, Apr 2014.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] TOVAR-MOLL, F.; LENT, R. Neuroplasticidade: O Cérebro em Constante Mudança. In: LENT, R.; BUCHWEITZ, A.; MOTA, M.B. (orgs.) **Ciência para Educação: Uma Ponte entre Dois Mundos**. Rio de Janeiro: Atheneu, 2017.
- [ii] Idem.
- [iii] MARTIN, R.; MURTAGH, E.M. Effects of active lessons on physical activity, academic and health outcomes: A systematic review. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, 88 (2), pp. 149-168, Mar 2017.
- [iv] LEMOS, N.; WEISSHEIMER, N.; RIBEIRO, S. Naps in school can enhance the duration of declarative memories learned by adolescents. **Frontiers in Systems Neuroscience**, 8, p. 103, Jun 2014.
- [v] WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Neurological Disorders: Public Health Challenges**. Geneva: WHO, 2006.
- [vi] ASIMOV, I. **I, Robot**. London: Gnome Press, 1950.
- [vii] DICK, P. K. **Do Androids Dream of Electric Sheep?** New York: Doubleday, 1968.
- [viii] KURTZWEIL, R. **The Age of Intelligent Machines**. Boston: MIT Press, 1990.



---

# 4

## AR, ÁGUA E SOLO

---

ESFORÇOS CONJUNTOS PELA CRIAÇÃO  
DE UM PAÍS SUSTENTÁVEL

É tão comum representar o planeta em mapas com fronteiras geográficas bem marcadas que muita gente esquece que, para o mundo natural, essas fronteiras não existem. Se, para as atividades humanas, é muito útil estabelecer limites e dividir territórios, para as demais espécies vivas, e também para a água, para o ar e para o solo, essa divisão é desprovida de sentido – tudo está conectado, e o que acontece em uma região acabará, fatalmente, impactando outras. Além disso, um solo contaminado pode influenciar a qualidade da água, a poluição do ar pode ter impacto sobre o solo, e assim por diante.

Vale lembrar, também, que todos esses elementos têm relação com a qualidade de vida das populações que habitam as diferentes regiões da Terra, seja na cidade ou no campo. A deterioração do solo, da água e do ar tem grande impacto econômico e social, acarretando problemas como aumento dos índices de mortalidade, elevação dos gastos com saúde e até privação de elementos básicos para a vida, como água potável e alimentos de qualidade.

Por isso, para preservar a biosfera, é urgente pensar estratégias coesas com vistas à conservação de seus três compartimentos principais: atmosfera (ar), hidrosfera (água) e litosfera (solo).

## A SEMENTE DA EDUCAÇÃO

Em boa medida, as diretrizes para ciência, tecnologia e inovação voltadas para a qualidade integral do ar, da água e do solo dependem de um elemento essencial: educação. É preciso que a sociedade, em todos os níveis, esteja preparada para se apropriar das informações elaboradas pela ciência. Para que isso aconteça, a educação precisa estar fortemente conectada com a cultura e as características ambientais de cada lugar do vasto território brasileiro.

---

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS),<sup>[1]</sup> dos quais oito perpassam essas questões:

- Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares;
- Acabar com a fome, alcançar segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
- Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
- Assegurar educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
- Assegurar disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
- Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e os seus impactos;
- Conservar e usar sustentavelmente os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;
- Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.

Espera-se que todos os países que assinaram o documento implantem medidas efetivas para alcançar os 17 ODS até 2030. Para que isso seja possível, foram elaboradas metas concretas que especificam as ações requeridas em relação a cada objetivo.<sup>[2]</sup> O Brasil faz parte desse esforço, porém, muitas das ações previstas requerem informações robustas que ainda não estão disponíveis e tampouco podem ser importadas de outros países, dadas as especificidades do ambiente e da cultura de cada nação. Aliás, em um país de dimensões continentais, muitas vezes não é possível nem mesmo extrapolar os dados de uma região para outra – por exemplo, no caso da gestão sustentável da água, as necessidades do Sudeste são muito diferentes daquelas do Norte ou do Nordeste.

Faz-se necessária, portanto, uma pronta e rápida ação dos setores de ciência, tecnologia e inovação, no sentido de produzir informações para viabilizar a consecução das metas e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, levando em consideração as particularidades de cada região do Brasil.

# UMA AGENDA PARA O AR

A atmosfera é essencial para todos os seres vivos e um recurso compartilhado por cada habitante do planeta. Apesar disso, o crescimento das atividades industriais e a utilização de combustíveis fósseis no transporte urbano e de mercadorias, juntamente com o desmatamento das florestas, têm contribuído de forma significativa e crescente para a alteração da composição da atmosfera, levando à deterioração da qualidade do ar e, por conseguinte, da água e dos solos.

Essa alteração tem, também, um impacto importante sobre a saúde humana. Em 2013, a Agência Internacional para a Pesquisa sobre Câncer (IARC, na sigla em inglês) da Organização Mundial da Saúde (OMS) concluiu que a poluição do ar é carcinogênica para a espécie humana.<sup>[1]</sup> Isso inclui o principal componente da poluição atmosférica, os particulados atmosféricos – mistura complexa de minúsculas partículas de material sólido e gotas de líquido. Algumas partículas, como poeira, sujeira, fuligem ou fumaça, são grandes ou escuras o suficiente para serem vistas a olho nu. Outras são tão pequenas que só podem ser identificadas utilizando-se modernos microscópios.<sup>[3]</sup> Além do câncer, a poluição do ar pode ter uma grande variedade de outros efeitos sobre a saúde humana, incluindo doenças cardiorrespiratórias e neurodegenerativas e redução da fertilidade.

Várias áreas urbanas sofrem com níveis de poluentes acima dos recomendados pela OMS e que extrapolam os limites estabelecidos pela legislação brasileira, em especial material particulado fino, carbono negro (*black carbon* - BC), ozônio (O<sub>3</sub>) e monóxido de carbono (CO). O setor de transportes é, em geral, responsável pela maior parte das emissões desses poluentes em áreas urbanas, e o desenvolvimento de estratégias embasadas cientificamente para a redução da poluição é essencial para garantir melhorias na saúde da população.

Além da qualidade da vida humana, a poluição do ar também afeta os ecossistemas e contribui para o aumento do efeito estufa. No nível global, o aumento da concentração de gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) está alterando o clima do planeta, com aumento da temperatura, mudança no padrão de chuvas e elevação do nível do mar, entre outros efeitos. Várias regiões brasileiras, em especial as áreas costeiras, sofrem esses impactos. Portanto, é fundamental estabelecer um plano para redução de emissões e adaptação às mudanças que já estão ocorrendo.

Em 2016, o Brasil assumiu oficialmente o compromisso<sup>[4]</sup> de trabalhar para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), seguindo a proposta do Acordo de Paris, assinado pelos 195 países que compõem Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês). A ciência é essencial para que esse processo seja conduzido de forma sustentável e eficiente.

Uma iniciativa que merece destaque nesse contexto é o Plano ABC - Agricultura de Baixo Carbono,<sup>[5]</sup> elaborado com base em dados científicos e com o objetivo de reduzir a emissão de GEE decorrente das atividades agrícolas e de pecuária no período de 2010 a 2020. As ações por ele propostas possibilitam excelentes resultados na fixação biológica de nitrogênio, no plantio direto, na integração lavoura-pecuária-floresta e na recuperação de pastagens degradadas, entre outros aspectos da atividade agropecuária brasileira.

É fundamental, portanto, que outras iniciativas usem os dados e informações obtidos pela pesquisa científica para traçar políticas públicas eficazes em reduzir a emissão dos GEE. Uma das estratégias prioritárias deve ser a diminuição do desmatamento em todos os biomas brasileiros – a tendência atual, observada, por exemplo, na Amazônia, é de crescimento: se, em 2011/2012, o bioma teve uma taxa anual de desmatamento de 4.571 km<sup>2</sup>, em 2015/2016 ela foi de 7.893 km<sup>2</sup>, o que representa um aumento de 57%.<sup>[6]</sup> A mesma tendência é observada no Cerrado.

Propõe-se, assim, a definição de uma agenda para o ar de qualidade, que compreenda o diagnóstico e o monitoramento da qualidade do ar no território brasileiro, mas que vá além das informações básicas e proponha ações para a redução da emissão de poluentes (incluindo, mas não se limitando aos gases de efeito estufa) e até mesmo para a remoção de poluentes da atmosfera. Para que essa agenda seja cumprida, será importante conscientizar e mobilizar toda a cadeia socioeconômica, promovendo as mudanças necessárias de cultura.



1

---

Criar leis efetivas que regulem a emissão de poluentes, a exemplo da *Clean Air Act* (“Lei do Ar Limpo”, em tradução livre) dos Estados Unidos, mas concebidas de acordo com as características industriais, do transporte e da agricultura brasileiras;

2

---

Desenvolver tecnologias de última geração para o monitoramento da qualidade do ambiente aéreo (biótico e abiótico), para a identificação das fontes poluidoras, para a redução das emissões em geral e para a remoção de poluentes atmosféricos;

3

---

Reestruturar o transporte urbano, com maior utilização de veículos elétricos ou híbridos de baixa emissão de poluentes;

4

---

Investir em transporte público de qualidade;

5

---

Implementar novas estratégias para a redução do desmatamento em todos os biomas nacionais;

6

---

Viabilizar o uso intensivo de energias renováveis, como solar e eólica, de forma a reduzir a queima de combustíveis fósseis e diminuir a pressão para a construção de novas hidrelétricas na Amazônia, que, em geral, afetam negativamente o meio ambiente e as comunidades que vivem na região;



---

# 7

---

Desenvolver tecnologias energéticas com baixa emissão de gases que causam efeito estufa e, simultaneamente, de poluentes tóxicos locais;

---

# 8

---

Criar instrumentos para a consolidação de redes de informações georreferenciadas com base em dados já existentes no país sobre clima, uso e ocupação de solo, morbidade e mortalidade georreferenciadas, cobertura vegetal (incluindo zonas urbanas), dados censitários, imagens de satélite (incluindo de queimadas) e estimativas das concentrações de gases e partículas, bem como outras que forem necessárias para a condução de estudos relacionando saúde com variações de concentrações de poluentes e clima nas suas dimensões de tempo e espaço – o gerenciamento deste sistema de informações deve ser voltado para produção de políticas públicas consistentes e de longo prazo;

---

# 9

---

Desenvolver sensores de baixo custo para medidas de poluentes atmosféricos, de forma a suprir a expressiva falta de cobertura dessas medidas no território nacional;

---

# 10

---

Aprimorar técnicas simples de biomonitoramento da poluição, incluindo bioconcentração e efeitos tóxicos dos poluentes, para emprego em regiões desprovidas de instrumentação convencional para a aferição das concentrações de poluentes atmosféricos;

---

# 11

---

Contribuir para a criação de um ambiente que facilite a formação de redes de colaboração científica voltadas ao tema poluição do ar e saúde humana, assim como estudos sobre os benefícios diretos e indiretos das medidas de mitigação e redução de emissões.

# ÁGUA PARA TODOS

A distribuição da água no território brasileiro não é homogênea. Se, por um lado, há uma vasta malha hídrica continental, incluindo uma das maiores reservas de água do planeta – a Amazônia –, por outro, há espaços significativos sem a devida disponibilidade de água, seja por causa de características geográficas específicas ou pela ausência de uma distribuição adequada deste recurso. Em algumas regiões, a sazonalidade das chuvas faz com que a presença da água flutue enormemente: há períodos de excesso de água, com impactos erosivos, alteração das condições de escoamento e perda de solo fértil, e épocas de seca, limitando a agricultura nessas áreas.

O resultado é que já começaram a ocorrer conflitos relativos ao uso urbano, industrial e agrícola da água, o que sublinha a necessidade da elaboração de uma agenda que busque garantir água para todos. Antes que essa agenda seja definida, é preciso analisar de forma integral a questão da água, incluindo todo o ciclo hidrológico, desde a água da chuva e dos lagos, rios, canais, represas, áreas úmidas e depósitos subterrâneos, até os diferentes tipos de emissões poluidoras, sejam elas domésticas, industriais, da agropecuária ou da mineração, ou ainda relacionadas à extração de petróleo e gás das plataformas continentais. Essa análise completa apenas será possível com métricas que possibilitem uma avaliação precisa, confiável e acessível da disponibilidade e da qualidade hídrica de cada região.

O Brasil e, em especial, seus grandes centros urbanos requerem o desenvolvimento de um programa consistente acerca do uso e do reuso da água. Evidentemente, informações robustas são necessárias para o desenho de políticas adequadas para esse contexto.

De antemão, pode-se destacar que os mananciais de água subterrânea têm o potencial de contribuir significativamente para suprir as necessidades hídricas do país, desde que devidamente avaliados. É sabido, ainda, que as áreas úmidas têm importância vital (veja o quadro “Tesouro molhado”) e que a manutenção de reservas hídricas adequadas à demanda brasileira dependerá primariamente da proteção de nascentes e florestas ripárias (isto é, próximas aos corpos d’água), o que requer não apenas o efetivo cumprimento das normas ambientais já elaboradas, mas também o desenvolvimento de novas e robustas estratégias de recuperação de áreas degradadas. Intervenções artificiais para a transposição de sistemas hídricos devem ser consideradas apenas depois de profunda análise científica e consideração de alternativas com menor impacto ambiental.

## TESOURO MOLHADO

As áreas úmidas exercem papel crucial no sistema hídrico brasileiro. Cerca de 20% do território nacional são cobertos por várzeas, igapós, veredas, matas ripárias, buritizais, turfeiras e outros tipos de áreas úmidas, responsáveis por estocar parte do excesso de água durante a época chuvosa e liberá-la lentamente para os riachos e rios durante o período mais seco. Além disso, essas regiões fornecem outros serviços fundamentais para o meio ambiente e para o homem, como a redução da amplitude da oscilação do nível dos riachos e rios, o reabastecimento do lençol freático, a retenção de sedimentos, a limpeza da água e a manutenção da biodiversidade, além da própria disponibilidade de água limpa para diferentes usos.

Em relação à biodiversidade, é preciso destacar que a preservação do vasto conjunto de organismos aquáticos que habita as áreas úmidas e os corpos de água garante, adicionalmente, condições para manter a variabilidade genética, enfrentar novos desafios na produção de alimentos, conservar os serviços ecossistêmicos e proporcionar qualidade ambiental.

Por essas razões, a modificação massiva de áreas úmidas em todo o território nacional e sua transformação em áreas de uso agropecuário e/ou habitacional, bem como a poluição decorrente das diferentes ações antrópicas, têm profundos efeitos negativos sobre o sistema hídrico e, em especial, sobre a interação água-solo. Enchentes extremas, deslizamentos, desabastecimento de água e elevadíssimas perdas financeiras e humanas têm sido as consequências mais danosas e cada vez mais frequentes desse processo.



Em cada um desses aspectos, a ciência será aliada fundamental, por exemplo, ao desenvolver técnicas de restauração ecológica de mais baixo custo ou estratégias para viabilizar economicamente o cumprimento da Lei de Proteção à Vegetação Nativa (o “Novo Código Florestal”), que exige a restauração de áreas de preservação permanente e reservas legais em propriedades privadas.

Modelos para a avaliação da qualidade de águas continentais, disponíveis apenas para poucas bacias hidrográficas, precisam ser expandidos para todo o território, e a legislação sobre qualidade da água precisa estar adaptada às características nacionais e locais – por exemplo, águas com altos níveis de carbono orgânico dissolvido, ácidas e pobres em íons requerem regras específicas de manejo, que devem ser regulamentadas.

Ciência e tecnologia podem contribuir, também, com novas estratégias para a redução da quantidade de poluentes que atinge rios e lagos, além de técnicas para identificar a poluição aquática por medicamentos, agrotóxicos e outros poluentes persistentes, de uso industrial e doméstico, que podem ter efeitos devastadores, ainda não totalmente determinados, sobre a fauna aquática e a saúde humana. Podem, sobretudo, buscar soluções para a implantação de um programa abrangente e eficaz de saneamento básico, o que teria um efeito direto e positivo sobre a disponibilidade de água de qualidade no país.

As águas oceânicas constituem um capítulo à parte na questão hídrica e requerem uma agenda específica, que vai desde a capacitação de pessoal de alto nível até o contínuo monitoramento das águas costeiras no que se refere à interação com os desequilíbrios continentais, que têm efeitos significativos sobre a vida marinha. As ciências do mar são tema do **Capítulo 13** deste livro.

Em cada um dos temas já mencionados, a sinergia entre cientistas, juristas, legisladores e executivos é fundamental para garantir o sucesso das estratégias traçadas. Por isso, será necessário aprimorar o diálogo entre esses profissionais – um avanço nesse sentido permitirá a adaptação da legislação em vigor, que trata dos recursos hídricos, ao conhecimento científico já disponível, de modo a satisfazer as atuais e futuras exigências econômicas, ecológicas e sociais de um Brasil em estágio de desenvolvimento acelerado. Este assunto será abordado no **Capítulo 12**.

Em síntese, a agenda de C,T&I para o compartimento água deve envolver:

# 1

---

Desenvolver e utilizar de forma ampla tecnologias contemporâneas (por exemplo, sensores de alto desempenho, monitoramento em tempo real utilizando drones, veículos aéreos não tripulados, imageamento por satélite, internet das coisas, armazenamento em nuvens, entre outras) para inventário e monitoramento qualitativo e quantitativo das águas superficiais, áreas úmidas, águas subterrâneas e efluentes, além da determinação da disponibilidade hídrica atual e futura;

# 2

---

Elaborar modelos que permitam uma visão integrada do relacionamento entre águas superficiais, águas subterrâneas e áreas úmidas, de modo a auxiliar o uso sustentável dos recursos hídricos, tanto no ecossistema aquático quanto no terrestre;

# 3

---

Realizar inventários completos das áreas úmidas em todo território nacional, incluindo a sua classificação, a delimitação de suas bordas e a avaliação da sua integridade ambiental, medida pelo estado da vegetação natural dentro e ao redor das mesmas. Esses inventários deverão nortear ações concretas para a manutenção dos múltiplos serviços das áreas úmidas, a diminuição de riscos à sua integridade ecológica e a elaboração de planos de recuperação, de modo a garantir a disponibilidade de água para o homem e para a natureza;

# 4

---

Avaliar o impacto de mudanças climáticas nos processos hidrológicos e na disponibilidade hídrica, bem como medidas adaptativas a essas mudanças;

# 5

---

Estabelecer infraestrutura e competências para identificação e caracterização de poluentes orgânicos emergentes e persistentes;

# 6

---

Desenvolver tecnologias para monitorar e minimizar as perdas nas redes de abastecimento de água;

# 7

---

Investir na modernização da rede de distribuição da água e do sistema de saneamento básico, bem como no melhor aproveitamento da água da chuva, que deve ser priorizado em relação ao uso das águas subterrâneas, da transposição de rios e da dessalinização da água do mar;

# 8

---

Promover e desenvolver tecnologias para o uso mais eficiente dos recursos hídricos nos processos industriais, especialmente no agronegócio. Há de se considerar que o consumo de água pelo agronegócio representa mais de 70% do consumo de água do país, e que o potencial de irrigação no Brasil é de cerca de 30 milhões de hectares, dos quais hoje são utilizados apenas cerca de 7 milhões de hectares. A contribuição da C,T&I é, portanto, essencial para aumentar a eficiência do uso da água na agropecuária e na agroindústria, para a definição de políticas públicas e para a gestão de conflitos;

# 9

---

Avaliar o impacto de poluentes sobre a vida aquática;

---

# 10

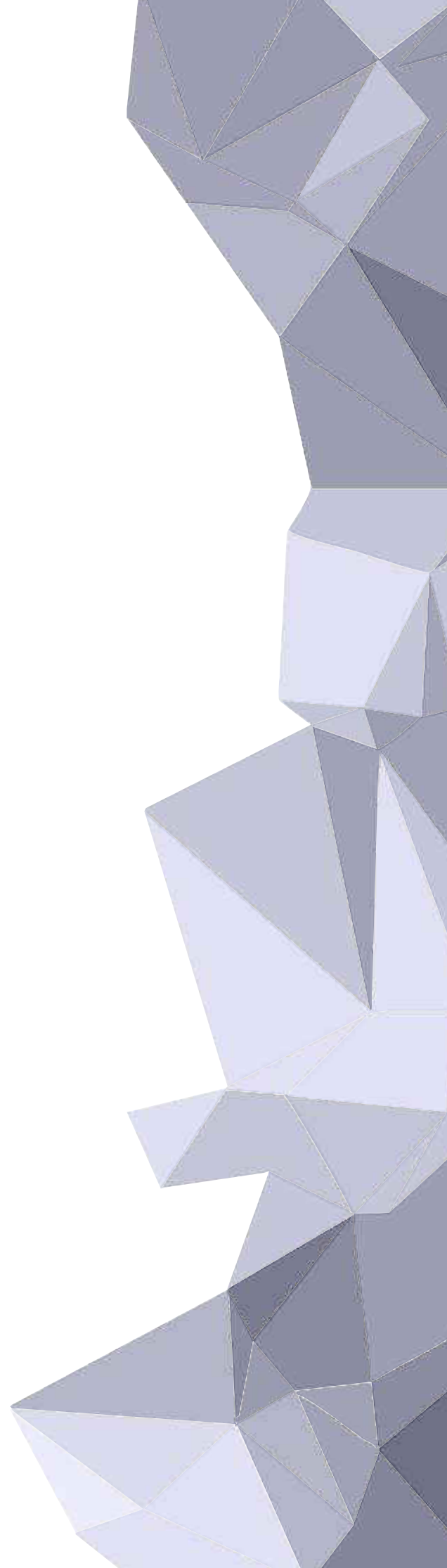
---

Capacitar pessoal de alto nível para realizar monitoramento contínuo das águas costeiras;

# 11

---

Promover a sinergia entre cientistas, juristas e legisladores para a definição de políticas públicas fortemente embasadas em conhecimento científico, de forma a satisfazer as atuais e futuras exigências econômicas, ecológicas e sociais do país.



# MUITO ALÉM DAS PLANTAÇÕES

Finalmente, o terceiro compartimento da biosfera, o solo, guarda íntima relação com os dois primeiros, influenciando suas qualidades e sendo influenciado por ambos. Afinal, ele próprio é composto de uma combinação entre os três elementos: uma fração sólida de material orgânico ou inorgânico, uma fração gasosa (chamada de atmosfera do solo) e uma fração líquida (a solução do solo). Os componentes sólidos geralmente se agregam, criando um sistema de poros de vários tamanhos por onde circulam a água, o ar e os organismos do solo, cuja diversidade corresponde a, aproximadamente, 25% de toda biodiversidade terrestre.

Da mesma forma que o ar e a água, o solo também é impactado pela ação antrópica e pode-se dizer que boa parte dos efeitos da ação do homem sobre os outros dois compartimentos tem origem no solo, onde acontece a maior parte das atividades humanas, como a agricultura (veja o quadro “Responsabilidade na agricultura”), o desmatamento e tantas outras. Por isso, os cuidados com o solo devem abarcar mais do que os cuidados voltados para a produtividade convencional: é preciso considerar as funções mais amplas desse compartimento para a manutenção dos sistemas naturais e agrícolas. Isso passa por uma nova visão de manejo do solo, sob um ponto de vista semelhante ao conceito de segurança alimentar, ou seja, há necessidade também de um enfoque técnico-científico que contemple a segurança global dos solos.

## RESPONSABILIDADE NA AGRICULTURA

Estima-se que, para atender à crescente população mundial, a produção de alimentos no planeta deverá crescer 50% até o ano 2050.<sup>[ii]</sup> Caberá ao Brasil uma parte importante desse esforço global: suprir cerca de 40% do aumento da demanda por comida. Alcançar esse objetivo somente será possível unindo produtividade e resiliência nos sistemas produtivos agrários.

Entretanto, a falta de dados sistematizados regionalmente que possam contribuir para a modelagem agrícola nos diferentes espaços do território e que auxiliem a formulação de políticas públicas limita a chance de sucesso nessa empreitada. A avaliação das



---

possibilidades e limitações dos diferentes territórios para a produção agrícola esbarra na falta de análises integradas que incluam propriedades dos solos, biodiversidade e características socioeconômicas, em escala compatível com as unidades agrícolas e com as microbacias hidrográficas.

Outra fragilidade reside no fato de que as novas fronteiras agrícolas, no Brasil, se desenvolvem cada vez mais em áreas de solos frágeis e, frequentemente, consideradas marginais para uso agrícola, o que exige forte atuação e investimento em pesquisa para serem utilizadas da forma mais sustentável possível. Informações científicas podem auxiliar, também, no planejamento do uso agropecuário de áreas degradadas, o que diminuiria a pressão do desmatamento. Há, no Brasil, mais de 50 milhões de hectares de solos degradados<sup>[iii]</sup> ou de baixa produtividade, que poderiam ser reinseridos no processo produtivo com as tecnologias hoje disponíveis, por exemplo, o Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)<sup>[8]</sup> e o Sistema Plantio Direto (SPD).<sup>[9]</sup>

Ainda em relação ao manejo do solo, é preciso promover o uso eficiente de insumos agrícolas. Segundo a Associação Internacional de Fertilizantes,<sup>[10]</sup> o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, em volume total, e cerca de dois terços desses fertilizantes são importados, o que coloca o país numa situação frágil de dependência da importação desse insumo. Porém, existem várias reservas de agrominerais nacionais com potencial para uso como fonte de nutrientes, além de enormes quantidades de resíduos da agroindústria e de outras fontes que poderiam ser transformados para uso agrícola.

O desenvolvimento de tecnologias que viabilizem a utilização desses recursos pode impactar positivamente a balança comercial brasileira, reduzir custos da produção agropecuária e minimizar os riscos relativos à dependência externa. Além disso, pesquisas que envolvam o uso eficiente de fertilizantes são, também, essenciais e estratégicas para a obtenção de produtividades máximas econômicas e para diminuir as perdas de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera.

Por fim, vale ressaltar que o Brasil possui o maior volume mundial de negócios com pesticidas – embora o uso de pesticidas por hectare cultivado ou o investimento em dólares por hectare seja proporcionalmente menor do que o encontrado em países como Japão, França e Estados Unidos, entre outros. É importante que os setores produtivos estejam cada vez mais atentos para minimizar os riscos ecológicos.

A questão da agricultura no Brasil será discutida com maior profundidade no **Capítulo 6** deste livro.

Entre as funções mais amplas do solo para a manutenção dos sistemas naturais e agrícolas, pode-se destacar a regulação de fluxo hídrico, a atenuação do efeito de poluentes e a regulação da qualidade do ar e da água – todas elas são funções primárias que vêm sendo perdidas em solos degradados. Assim, ampliar o estudo das funções dos solos brasileiros e mapear suas aptidões e usos é central diante dos imensos desafios não só para a produção de alimentos, mas para a recuperação de áreas degradadas, em particular na Amazônia, e para a qualidade de vida do homem.

O potencial de uso do solo depende da combinação de atributos biológicos, químicos e físicos e, também, da interação com o ar e com a água. Proteger o solo envolve, portanto, proteger sua capacidade de manter várias funções simultaneamente, incluindo produção de alimentos, fibras e combustíveis; armazenamento de nutrientes e carbono; filtração, purificação e estoque de água; transformação química de poluentes orgânicos e inorgânicos; degradação e armazenamento de lixo; e manutenção da estabilidade e da resiliência ecossistêmica.

Além desses aspectos, há que se considerar questões relacionadas a erosão, impermeabilização, compactação, salinização, acidificação e poluição com produtos químicos de difícil degradação que acabam por inutilizar amplos espaços. A erosão, em particular, tem como um de seus principais efeitos negativos a perda de matéria orgânica e, assim, pode ser considerada o indicador mais simples e um dos mais importantes para se medir a qualidade do solo.

Como os problemas indicados acima interagem de formas diferentes em cada um dos ecossistemas brasileiros, é preciso avaliar caso a caso as melhores estratégias para atacá-los, sem generalizações, o que demanda um processo continuado de produção e disseminação de informação. Note-se, ainda, que, sendo impossível dissociar a questão dos solos da problemática da água e do ar, a formulação de pesquisas e de políticas públicas deverá respeitar a análise conjunta desses fatores. Uma iniciativa interessante nesse sentido tem sido o fomento de estudos integrados no modelo de Observatórios de Zona Crítica (do inglês *Critical Zone Observatories*<sup>[7]</sup>), em que se analisa “desde o topo das árvores até o fundo dos aquíferos”.

Alguns temas prioritários para a ciência e a tecnologia relacionadas aos solos são:

# 1

---

Analisar os impactos das políticas públicas na provisão de serviços ecossistêmicos nos agroecossistemas, valorizando os produtores rurais que adotarem práticas conservacionistas;

# 2

---

Desenvolver métodos e ferramentas que permitam a análise da dinâmica de uso e cobertura da terra com maior rapidez e custos reduzidos, de forma a identificar áreas frágeis ou degradadas onde devam ser priorizados os investimentos de proteção e recuperação;

---

# 3

---

Implementar a utilização plena da inteligência oriunda da pesquisa científica e do conhecimento tácito dos produtores, incentivando o desenvolvimento da agricultura inteligente, que preconiza a junção de instrumentação agropecuária, nanotecnologia, biotecnologia, tecnologias da informação e comunicação e ciências cognitivas;

---

# 4

---

Organizar a informação e a transferência de resultados gerados pela ciência em linguagem acessível aos diversos setores da sociedade, incentivando o engajamento de uma crescente população urbana na proteção dos recursos naturais e no aumento da segurança alimentar. Soma-se a essa medida a elaboração de um sistema nacional de informações que inclua os atributos dos solos brasileiros e sua distribuição, de forma a apoiar o planejamento do uso e da conservação de solos;

---

# 5

---

Desenvolver base tecnológica para a produção de novos tipos de fertilizantes (orgânicos e organominerais) que incorporem estratégias como uso de novas fontes minerais de nutrientes, aproveitamento de resíduos agroindustriais, aumento da eficiência de absorção dos nutrientes e utilização de microrganismos benéficos;

---

# 6

---

Incentivar pesquisas sistemáticas sobre risco ecológico e à saúde derivados do uso de pesticidas e fertilizantes em diferentes agroecossistemas;

---

# 7

---

Desenvolver projetos pilotos nos diferentes biomas brasileiros, buscando entender a interação sinérgica entre os compartimentos solo, água e ar.

# TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Atualmente, as tecnologias digitais (*big data*, robótica, internet das coisas, manufatura 3D) para a informação, a comunicação e a manufatura são, de forma crescente, vetores de inovação e de competitividade. Assim, programas voltados para a qualidade do ar, do solo e da água podem se beneficiar de um gerenciamento otimizado por meio do uso ampliado dessas técnicas.

Diversas variáveis ambientais podem ser medidas e monitoradas, em tempo real, por meio de sensores distribuídos em amplos territórios. Os dados coletados podem, por sua vez, ser tratados, analisados e utilizados para a tomada de decisão. Modelos e simulações de caráter preditivo podem, ainda, ser incorporados visando promover uma gestão inteligente e de longo prazo.

Por isso, a ABC recomenda:

1

---

Incentivar a formação de recursos humanos altamente qualificados, inclusive por meio de programas de cooperação internacional;

2

---

Potencializar os investimentos em P&D no país por meio do compartilhamento de infraestruturas laboratoriais, de campos experimentais e de pessoal, de modo a reduzir custos operacionais e prazos de alcance dos resultados, otimizando recursos humanos, financeiros e materiais já disponíveis;

3

---

Estimular o empreendedorismo para criar empresas de base tecnológica, *startups*, consultorias, cursos e treinamentos, de modo a facilitar a geração de tecnologias e a formação de recursos humanos e, com isso, a criação de novos negócios, empregos e bem-estar no país;

4

---

Explorar oportunidades do novo marco legal de C,T&I para parcerias público-privadas em inovação;

5

---

Aproveitar as sinergias que surgirão entre o campo e as cidades devido às possibilidades de conectividade refletidas nos conceitos emergentes de cidades inteligentes e agricultura inteligente;

6

---

Integrar as sociedades científicas aos grupos de trabalho governamentais que participam da concepção de legislações e políticas públicas integradoras da qualidade do ar e do manejo do solo e da água.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.). **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo: ABC, Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

FIELD, D. J.; MORGAN, C.L.S.; MCBRATNEY, A. B. **Global Soil Security: Progress in Soil. Science Series**. Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

PERDRIAL, J.; THOMPSON, A.; CHOROVER, J.. Soil Geochemistry in the Critical Zone: Influence on Atmosphere, Surface- and Groundwater Composition. **Developments In Earth Surface Processes**, [s.l.], p.173-201, 2015. Elsevier.  
<<http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-63369-9.00006-9>>.

SIOLI, H.. **The Amazon: Limnology and landscape ecology of a might tropical river and its basin**. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, 1984. 763 p.

STRAIF, K.; COHEN, A.; SAMET, J.M.. **Air Pollution and Cancer: IARC Scientific Publication 161**. Geneva: WHO, 2013. 177 p.  
Disponível em:  
<<http://www.iarc.fr/en/publications/books/sp161/index.php>>.  
Acesso em: 14 mar. 2018.

- 
- [1] Consulte a lista completa em <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>.
- [2] Para conhecer as 169 metas estabelecidas para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, acesse <[http://www.itamaraty.gov.br/images/ed\\_desenvsust/ODSportugues12fev2016.pdf](http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/ODSportugues12fev2016.pdf)>.
- [3] Saiba mais sobre o tema no link <<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM+>>.
- [4] Saiba mais em <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris/item/10710>>.
- [5] Mais informações em <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>.
- [6] O projeto PRODES, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, realiza levantamentos sistemáticos sobre o desmatamento na Amazônia. Confira em <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>.
- [7] Informações no link <<http://criticalzone.org/national/>>.
- [8] Saiba mais em <<https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf>>.
- [9] Saiba mais em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema\\_plantio\\_direto/arvore/CONT000fh2b6ju802wyiv80rn0etn6qe10im.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fh2b6ju802wyiv80rn0etn6qe10im.html)>.
- [10] Acesse a página da instituição pelo <link <https://www.fertilizer.org/En/Statistics>>.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] LOOMIS, D. et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. **The Lancet Oncology**, v. 14, n. 13, p. 1262-1263, 2013.
- [ii] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **How close are we to #ZeroHunger?: the state of food security and nutrition in the world**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/en/>>. Acesso em: 06 jun. 2018.
- [iii] DIAS-FILHO, M. B.. **Documentos 402: Diagnóstico das Pastagens no Brasil**. Belém (PA): Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 38 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2018.





---

# 5

## BIODIVERSIDADE EM FOCO

---

A IMPORTÂNCIA DE INVESTIR NO  
CONHECIMENTO DOS ECOSSISTEMAS E  
DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS



---

**B**iodiversidade é o termo cunhado pelo entomologista norte-americano Edward O. Wilson<sup>[i]</sup> para definir a diversidade biológica – quanto aos ecossistemas, quanto às espécies e também no âmbito genético – de uma determinada região. A mensuração da biodiversidade dos países tem servido de parâmetro para planos de conservação e tem especial relevância no Brasil, que lidera o *ranking* mundial em riqueza de espécies conhecidas.<sup>[ii]</sup>

Mas a importância de preservar a biodiversidade vai muito além de bater um recorde mundial. Um país de grande riqueza biológica tem como vantagem a garantia de oferta de serviços ecossistêmicos<sup>[iii]</sup> ou contribuições da natureza para o homem:<sup>[iv]</sup> segurança alimentar, qualidade e quantidade de água, clima estável e diversidade cultural são alguns dos serviços ofertados pela biodiversidade. Não surpreende, portanto, que o Brasil seja o país que possui a maior proporção de água doce superficial (12%) no mundo, o segundo maior produtor de alimentos e o detentor do maior estoque de carbono.<sup>[v]</sup>

Se esses são dados a se celebrar, há também outros com que se preocupar. No mundo inteiro, observa-se hoje uma crise de biodiversidade – estima-se que a taxa atual de extinção de espécies seja pelo menos mil vezes superior às taxas históricas.<sup>[vi, vii]</sup> Se essa degradação avançar, a humanidade perderá serviços ecossistêmicos essenciais e terá cada vez menos segurança alimentar, hídrica e climática. E mais: se o Brasil for ineficaz em conservar e utilizar de forma sustentável a sua biodiversidade, os impactos não serão apenas locais, mas também globais, no que diz respeito à produção de alimentos e aos balanços hidrológicos e atmosféricos.

O também norte-americano Jared Diamond atribui as altas taxas de extinção observadas nas últimas décadas a um “quarteto maligno” composto por destruição de habitats, ação predatória humana excessiva, espécies invasoras e cadeias de extinção.<sup>[viii]</sup> Mais recentemente, as evidências dos efeitos das mudanças climáticas sobre a extinção e a distribuição das espécies adicionaram um quinto fator de preocupação.<sup>[ix]</sup>

Apesar de o efeito negativo desses cinco fatores sobre a biodiversidade ser bem conhecido, a conversão de ecossistemas naturais e consequente destruição de habitats ainda representa a principal causa da extinção de espécies,<sup>[x]</sup> que hoje se aproxima das taxas de períodos de extinção em massa.<sup>[xi]</sup> Enquanto isso, ainda temos um profundo desconhecimento sobre as espécies existentes no planeta. Por exemplo, estima-se que entre 10 e 20% das plantas com flores ainda sejam desconhecidas para a ciência.<sup>[xii]</sup> No Brasil, 15 anos atrás, conhecíamos apenas 10% das espécies brasileiras: 200 mil dentre estimados 2 milhões.<sup>[xiii]</sup> Apesar dos avanços, essa ordem de grandeza provavelmente ainda não se alterou significativamente desde então.

Felizmente, há muito que o Brasil pode fazer para reverter essa tendência e preservar sua biodiversidade. A articulação entre ciência e política parece ser um importante pré-requisito para isso.

# CIÊNCIA PARA FUNDAMENTAR POLÍTICAS PÚBLICAS

Ao longo dos últimos 20 anos, as ciências relacionadas à biodiversidade e aos ecossistemas experimentaram um grande avanço no país. Não por acaso, biologia e meio ambiente estão entre os temas mais pesquisados pelos cientistas brasileiros.<sup>[xiv, xv]</sup> Segundo a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), há, no Brasil, mais de uma centena de cursos de pós-graduação em áreas relacionadas à biodiversidade, como ecologia, botânica, zoologia e biologia marinha. Entre 2013 e 2016, o Brasil formou mais de dois doutores por dia útil, ou cerca de 600 doutores por ano.<sup>[xvi]</sup>



Apesar desses bons indicadores, nem sempre a ciência da biodiversidade é levada em consideração nas tomadas de decisão por parte de legisladores e governantes brasileiros.<sup>[xvii, xviii]</sup> Embora a legislação nacional seja, de um modo geral, considerada avançada, a qualidade das decisões políticas varia muito. Se, por um lado, os compromissos globais aos quais o Brasil adere são arrojados, por outro, as práticas domésticas deixam muito a desejar.<sup>[xix, xx]</sup>

---

Este não é um problema exclusivamente brasileiro: o relatório de avaliação do Painel Intergovernamental de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos<sup>[xxi]</sup> (IPBES, na sigla em inglês), recentemente divulgado, sugere que, nas Américas, as políticas ambientais são desenhadas sob uma perspectiva setorial e, portanto, frequentemente desconectadas das políticas de desenvolvimento, que desconsideram o ângulo ambiental e frequentemente se tornam vetores de perda de biodiversidade e degradação de serviços ecossistêmicos.

A ciência pode ter contribuição fundamental para que o Brasil seja capaz de obter desenvolvimento socialmente justo, economicamente produtivo e ambientalmente equilibrado. Para que isso aconteça, a pesquisa científica precisa ter credibilidade, legitimidade e relevância.<sup>[xxii, xxiii]</sup> Porém, mesmo quando esses pré-requisitos são cumpridos e não há falta de informação para o tomador de decisão, ainda assim pode imperar o modelo conhecido como “dinâmica de poder”, no qual outros fatores, não ligados à informação científica, são preponderantes no processo decisório.<sup>[xxiv]</sup>

O que explica que o Brasil, um país que produz ciência ambiental de qualidade, ainda tenha dificuldades na tomada de decisão pública e privada em relação à biodiversidade? Há três hipóteses possíveis para explicar essa lacuna: 1) a ciência produzida no país não é relevante ou legítima o bastante para quem toma a decisão; 2) o tomador de decisão não tem acesso a essa ciência; ou 3) outros fatores, não derivados da informação científica, são mais determinantes na tomada de decisões. O que essas três hipóteses têm em comum é o fato de apontarem um problema na comunicação entre a ciência e a tomada de decisão.

Essa dificuldade de comunicação pode partir tanto do lado de quem produz e dissemina a ciência quanto da parte de quem a transforma em ação. Pode, também, se dar por carência de conexão da ciência com o que a sociedade reconhece como importante. A ABC acredita, por outro lado, que, quanto maiores forem a credibilidade, a legitimidade e a relevância da informação científica, menor será a possibilidade de fatores não científicos terem maior peso na ação escolhida pelo tomador de decisão.



Um estudo diagnóstico ainda não divulgado pela Plataforma Brasileira para Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) demonstrou que mais de 80% das publicações em biodiversidade e serviços ecosistêmicos com autores brasileiros são, a rigor, sobre biodiversidade e pressupõem que determinados serviços ecosistêmicos dela decorram, sem, no entanto, aferir seu valor econômico ou sociocultural. São raras ainda as publicações que examinam relações entre biodiversidade, serviços ecosistêmicos e bem-estar socioeconômico. Isso sugere um baixo entendimento sobre o funcionamento dos ecossistemas e, conseqüentemente, sobre as relações causais entre ações de conservação da biodiversidade e desenvolvimento humano.<sup>[xxv]</sup>

Nesse sentido, é necessário estabelecer uma agenda de ciência e tecnologia capaz de fundamentar a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas nacionais como parte central e ativa do processo de elaboração de políticas públicas e práticas do setor privado para o desenvolvimento do Brasil. Em outras palavras, a ciência precisa responder questões concretas e complexas da sociedade, por meio de abordagens interdisciplinares e integradas às práticas dos tomadores de decisão – o que, nos temas de biodiversidade, é um desafio adicional, devido à polarização artificial e historicamente construída entre desenvolvimento e conservação da natureza.

DUAS FACES PARA CADA DESAFIO

ASSIM COMO  
A CIÊNCIA PRECISA

APONTAR QUAIS SÃO AS ÁREAS  
PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO

MAPEAR ÁREAS PRIORITÁRIAS  
PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

SEGUIR IDENTIFICANDO ESPÉCIES E  
DESCREVENDO SUAS HISTÓRIAS  
NATURAIS

ENTENDER MAIS SOBRE OS IMPACTOS  
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A  
BIODIVERSIDADE E OS ECOSISTEMAS

... TAMBÉM NECESSITA

ENTENDER A RELEVÂNCIA DE ÁREAS  
CONSERVADAS PARA A VIDA DAS  
PESSOAS, INCLUINDO OPORTUNIDADES  
DE GERAÇÃO DE EMPREGO E RENDA

VIABILIZAR ESTRATEGICAMENTE ESSE  
PROCESSO, CRIANDO OPORTUNIDADES  
SOCIOECONÔMICAS PARA PESSOAS  
DESFAVORECIDAS

COMPREENDER OS SERVIÇOS QUE TAIS  
ESPÉCIES PODEM PRESTAR NO ÂMBITO  
FARMACÊUTICO, CULTURAL OU  
ECOSSISTÊMICO

CONSTRUIR CONHECIMENTO SOBRE O  
VALOR ADAPTATIVO DOS MESMOS  
ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS



# PROPOSTAS PARA O DESENVOLVIMENTO E A SUSTENTABILIDADE

Uma breve análise qualitativa sugere que alguns dos principais programas nacionais voltados para incentivar a pesquisa em temas relacionados à biodiversidade têm ênfase na biodiversidade *per se*, considerando temas como história natural, taxonomia, ecologia etc. Embora o financiamento para essas frentes continue sendo essencial, atualmente parece indispensável complementá-lo com o fomento a pesquisas de caráter socioecológico, que ultrapassem o tratamento disciplinar dos sistemas naturais e sociais e passem a abordá-los como sistemas interdependentes, que de fato são.

No Brasil, os serviços ecossistêmicos são a base para um modelo de desenvolvimento fundamentado apenas em *commodities* agrícolas. Mas há muito mais o que explorar de maneira sustentável. O enorme potencial econômico não efetivado de atividades como ecoturismo e produção de fármacos e cosméticos a partir de espécies locais precisa se tornar realidade. Paralelamente, devem ser levados em consideração as práticas inovadoras e o detalhadíssimo conhecimento que os indígenas e outras comunidades tradicionais têm do seu território. A possibilidade de diversificação da base alimentar a partir de variedades nativas e produtos da sociobiodiversidade é outra frente a ser abordada. Por fim, é fundamental encontrar caminhos para desenvolver projetos de infraestrutura – tão necessários ao país – com balanço líquido positivo para a biodiversidade e para os povos que habitam as áreas de intervenção.

A ABC recomenda que, nos próximos anos, a pesquisa científica em biodiversidade e ecossistemas tenha como foco principal o entendimento da relação desses elementos com o bem-estar humano. Essa proposta está alinhada com as iniciativas internacionais mais recentes na área de biodiversidade e serviços ecossistêmicos, incluindo as premissas do IPBES e a Agenda Estratégica de Pesquisa do projeto Future Earth.<sup>[xxvi]</sup> Concretamente, sugere-se:



1

---

Ampliar o eixo da pesquisa em biodiversidade e ecossistemas no Brasil em direção às suas fronteiras interdisciplinares e à sua conexão com o processo de tomada de decisão;

2

---

Identificar campos de colaboração possível entre as ciências da biodiversidade e as ciências humanas, sociais, econômicas, médicas e farmacêuticas, bem como com a engenharia e o direito, entre outros, além de identificar e valorizar os conhecimentos tradicionais e indígenas;

3

---

Criar ou reestruturar programas de pós-graduação de tal forma que estimulem a interdisciplinaridade, com o fomento à criação de disciplinas específicas e à realização de projetos com esse caráter;

4

---

Reestruturar o processo de análise de projetos interdisciplinares pelas agências de fomento, que precisam utilizar avaliações interdisciplinares de fato e não uma mera colagem de pareceres disciplinares;

5

---

Disponibilizar editais direcionados à integração entre as várias áreas do conhecimento relacionadas à biodiversidade e que estimulem também a integração com os tomadores de decisão.

Por fim, é importante lembrar que, muitas vezes, o pesquisador pressupõe que seus dados sejam relevantes à tomada de decisão, embora seja bem menos comum o cientista perguntar ao tomador de decisão de que tipo de informação ele necessita para embasar a mesma. Nesse cenário, instituições como a ABC e a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) podem desempenhar um papel fundamental, articulando a integração entre tomadores de decisão e pesquisadores das diversas áreas do conhecimento que a ampla temática de ciência e tecnologia em biodiversidade e ecossistemas abrange.

## COMPROMISSOS GLOBAIS

Essa nova abordagem da ciência da biodiversidade pode permitir ao Brasil alcançar posição de destaque nos grandes acordos globais relacionados à temática ambiental, incluindo, por exemplo, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas,<sup>[xxvii]</sup> o Acordo de Paris da Convenção do Clima,<sup>[xxviii]</sup> as Metas de Aichi da Convenção de Diversidade Biológica<sup>[xxix]</sup> e as Metas da Convenção de Combate à Desertificação.<sup>[xxx]</sup> Tais compromissos internacionais, com os quais o Brasil já se comprometeu, levantam a questão científica de como a biodiversidade e os ecossistemas podem promover o desenvolvimento sustentável, a adaptação às mudanças climáticas e o combate à desertificação.

Especificamente no caso brasileiro, a participação nos acordos ambientais globais é ancorada em legislação nacional,<sup>[xxxi]</sup> ao contrário do que acontece em outros países signatários desses acordos.<sup>[xxxii]</sup> Esta é uma importante oportunidade para o Brasil, mas, para que sejam promovidas ações efetivas no campo da governança e da política, a ciência precisará responder questões-chave.

Assim, é crucial que a ciência brasileira – de um modo geral, e talvez especialmente as ciências ligadas à biodiversidade e aos ecossistemas – esteja engajada em uma agenda de soluções para os grandes desafios locais, nacionais e globais. Essa ciência já demonstrou sua capacidade de apontar problemas e criticar processos de tomada de decisão públicos e privados. Chegou a hora de desenvolver a mesma capacidade na construção de soluções para e em conjunto com a sociedade.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

DICKS, L. V.; WALSH, J. C.; SUTHERLAND, W. J.. Organising evidence for environmental management decisions: a '4S' hierarchy. **Trends In Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 29, n. 11, p.607-613, nov. 2014. Elsevier BV.  
<[Http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2014.09.004](http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2014.09.004)>.

SCARANO, F.R.; GASCON, C.; MITTERMEIER, R. O que é biodiversidade? **Scientific American Brasil**, [s.l.], n. 39 (edição especial), p. 6-11, 2010.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] WILSON, E. O. **Biodiversity**. Washington: National Academy Press, 1988.
- [ii] MITTERMEIER, R.A., GIL, P.R., HOFFMANN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C.G., LAMOREUX, J., FONSECA, G.A.B. **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. 2nd ed. Arlington: Conservation International, 2005, 392 pp.
- [iii] MACE, G. M.; NORRIS, K.; FITTER, A. H.. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. **Trends In Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.19-26, jan. 2012. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>>
- [iv] PASCUAL, U. et al. Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [s.l.], v. 26-27, p.7-16, jun. 2017. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006>>.
- [v] SCARANO, F.; GUIMARÃES, A.; SILVA, J. M.. Lead by example. **Nature**, [s.l.], v. 486, n. 7401, p.25-26, jun. 2012. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/486025a>>.
- [vi] MACE, G.; MASUNDIRE, H.; BAILLIE, J. E. M.. Biodiversity. In: HASSAN, R.; SCHOLLES, R.; ASH, N. (Ed.). **Ecosystems and human well-being: Current state and trends: Findings of the condition and trends working group**. Washington: Island Press, 2005. p. 77-122.
- [vii] OLIVER, T. H.. How much biodiversity loss is too much? **Science**, [s.l.], v. 353, n. 6296, p.220-221, 14 jul. 2016. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.aag1712>>.
- [viii] DIAMOND, J. M.. Overview of recent extinctions. In: WESTERN, D.; PEARL, M. C. (Ed.). **Conservation for the twenty-first century**. Oxford: Oxford University Press, 1989. p. 37-41.
- [ix] THOMAS, C. D. et al. Extinction risk from climate change. **Nature**, [s.l.], v. 427, n. 6970, p.145-148, 8 jan. 2004. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nature02121>>.
- [x] BAILLIE, J. E. M.; HILTON-TAYLOR, C.; STUART, S. N. (Ed.). **2004 IUCN Red List of threatened species: A global species assessment**. Gland: IUCN, 2004.
- [xi] BARNOSKY, A. D. et al. Approaching a state shift in Earth's biosphere. **Nature**, [s.l.], v. 486, n. 7401, p.52-58, jun. 2012. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nature11018>>.
- [xii] SCHEFFERS, B. R. et al. What we know and don't know about Earth's missing biodiversity. **Trends In Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 27, n. 9, p.501-510, set. 2012. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.05.008>>.
- [xiii] LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I.. **Biodiversidade Brasileira: Síntese do Estado Atual do Conhecimento**. São Paulo: Contexto, 2002.
- [xiv] LETA, J.; GLÄNZEL, W.; THIJS, B. Science in Brazil. Part 2: Sectoral and institutional research profiles. **Scientometrics**, [s.l.], v. 67, n. 1, p.87-105, abr. 2006. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1556/scient.67.2006.1.6>>.
- [xv] SCARANO, F. R.. Perspectives on biodiversity science in Brazil. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 439-447, ago. 2007. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162007000400016&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162007000400016&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 09 jan. 2018.
- [xvi] SANTOS, P. J. P.; FREITAS, L. B.; FREITAS, L. (Coord.). **Relatório de Avaliação: Biodiversidade**. Brasília: Capes, 2017. 49 p. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/images/stories/download/avaliacao/relatorios-finais-quadrinial-2017/20122017-BIODIVERSIDADE-quadrinial.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [xvii] AZEVEDO-SANTOS, V. M. et al. Removing the abyss between conservation science and policy decisions in Brazil. **Biodiversity And Conservation**, [s.l.], v. 26, n. 7, p.1745-1752, 16 fev. 2017. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10531-017-1316-x>>.
- [xviii] FEARNSIDE, P. M.. Brazilian politics threaten environmental policies. **Science**, [s.l.], v. 353, n. 6301, p.746-748, 18 ago. 2016. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.aag0254>>.
- [xix] MITTERMEIER, R. et al. O Protagonismo do Brasil no Histórico Acordo Global de Proteção à Biodiversidade. **Natureza & Conservação**, [s.l.], v. 08, n. 02, p.197-200, 2010. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.4322/natcon.00802017>>
- [xx] LOYOLA, R.. Brazil cannot risk its environmental leadership. **Diversity And Distributions**, [s.l.], v. 20, n. 12, p.1365-1367, 29 set. 2014. Wiley-Blackwell. <<http://dx.doi.org/10.1111/ddi.12252>>.
- [xxi] INTERGOVERNMENTAL SCIENCE-POLICY PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES. **Summary for policymakers of the regional and subregional assessment of biodiversity and ecosystem services for the Americas**. Medellín, 2018. 29 p. Disponível em: <[https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/ipbes-6-5\\_en.pdf](https://www.ipbes.net/sites/default/files/downloads/ipbes-6-5_en.pdf)>. Acesso em: 06 maio 2018.
- [xxii] SARKKI, S. et al. Balancing credibility, relevance and legitimacy: A critical assessment of trade-offs in science-policy interfaces. **Science And Public Policy**, [s.l.], v. 41, n. 2, p.194-206, 28 ago. 2013. Oxford University Press (OUP). <<http://dx.doi.org/10.1093/scipol/sct046>>.
- [xxiii] SARKKI, S. et al. Adding 'iterativity' to the credibility, relevance, legitimacy: A novel scheme to highlight dynamic aspects of science-policy interfaces. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 54, p.505-512, dez. 2015. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.02.016>>.

- [xxiv] CÁCERES, D. M.; SILVETTI, F.; DÍAZ, S.. The rocky path from policy-relevant science to policy implementation — a case study from the South American Chaco. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [s.l.], v. 19, p.57-66, abr. 2016. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2015.12.003>>.
- [xxv] INGRAM, J.C.; REDFORD, K.H; WATSON, J.E.M. Applying Ecosystem Services Approaches for Biodiversity Conservation: Benefits and Challenges. **S.A.P.I.E.N.S. [Online]**, [s.l.], v. 5, n. 1, 06 nov. 2012. Disponível em: <<https://sapiens.revues.org/1459>>. Acesso em 09 jan. 2018.
- [xxvi] FUTURE EARTH. **Strategic Research Agenda 2014**: Priorities for a global sustainability research strategy. Paris: International Council For Science, 2014. 27 p. Disponível em: <[http://futureearth.org/sites/default/files/strategic\\_research\\_agenda\\_2014.pdf](http://futureearth.org/sites/default/files/strategic_research_agenda_2014.pdf)>. Acesso em: 09 jan. 2018.
- [xxvii] ONU BRASIL. **17 objetivos para transformar nosso mundo**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- [xxviii] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal. **Acordo de Paris**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [xxix] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal. **FAQs - Biodiversidade**: Metas de Aichi. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/perguntasfrequentes?catid=33>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [xxx] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Governo Federal. **Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/combate-a-desertificacao/convencao-da-onu>>. Acesso em: 15 jan. 2018.
- [xxxi] SCARANO, F. R.. Ecosystem-based adaptation to climate change: concept, scalability and a role for conservation science. **Perspectives In Ecology And Conservation**, [s.l.], v. 15, n. 2, p.65-73, abr. 2017. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2017.05.003>>.
- [xxxii] HÖHNE, N. et al. The Paris Agreement: resolving the inconsistency between global goals and national contributions. **Climate Policy**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.16-32, 2 nov. 2016. Informa UK Limited. <<http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2016.1218320>>.





---

6

# CIÊNCIAS AGRÁRIAS

---

OPORTUNIDADES DE PESQUISA PARA O  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL  
DO SETOR AGRÁRIO

**E**m 2050, a população mundial deve se aproximar de 10 bilhões de pessoas, e a produção de alimentos precisa acompanhar esse crescimento, com um aumento global de cerca de 50%.<sup>[i]</sup> Nesse esforço, cabe ao Brasil suprir cerca de 40% do aumento de demanda por comida<sup>[ii]</sup> – o que coloca as ciências agrárias entre as prioridades de pesquisa do país.

O Brasil dispõe de uma das maiores reservas de recursos naturais do planeta, com ampla biodiversidade, áreas ideais para produção agrícola, pecuária, florestal, de fibras e de bioenergia, inúmeras bacias hidrográficas e uma rica variedade de solos e climas. Não por acaso, tornou-se, nas últimas décadas, um dos maiores produtores agropecuários e florestais do mundo: é o maior exportador de café, açúcar, suco de laranja, etanol de cana-de-açúcar, frango, soja e carne bovina (este último empatado com a Índia), e o quinto de algodão.

Mas a natureza rica não foi o único fator que elevou o país a esse patamar. Investimentos em ciência e tecnologia e outras políticas públicas são reconhecidos internacionalmente como fatores que levaram o Brasil a explorar seu potencial agrícola e aumentar sua produtividade.

Nos próximos anos, o maior desafio do setor agrário será o de manter o crescimento, com mínima ampliação da fronteira agrícola e máximo aumento da produtividade. Nesse processo, o papel da ciência e da tecnologia redobra sua importância e será crucial para gerar e adaptar inovações que permitirão aumentar a produção de forma sustentável e assegurar a melhoria da qualidade nutricional da produção.





## SITUAÇÕES EM QUE AS NOVAS TECNOLOGIAS PODEM AGREGAR VALOR À AGROPECUÁRIA

**Internet das Coisas (IoT):** presente no meio industrial e na área urbana, deverá viabilizar no campo agrícola a obtenção de dados detalhados sobre as condições do solo (física, química e biológica), da cultura (estado nutricional, disponibilidade de água, doenças, espécies invasoras), dos animais (saúde, bem-estar, presença de parasitas), das máquinas e implementos (desempenho, consumo, produtividade, eficiência) e do clima.

**Automação:** Considerando-se que a mão de obra no campo está cada vez mais escassa e cara, é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias de automação para diferentes atividades agrícolas.

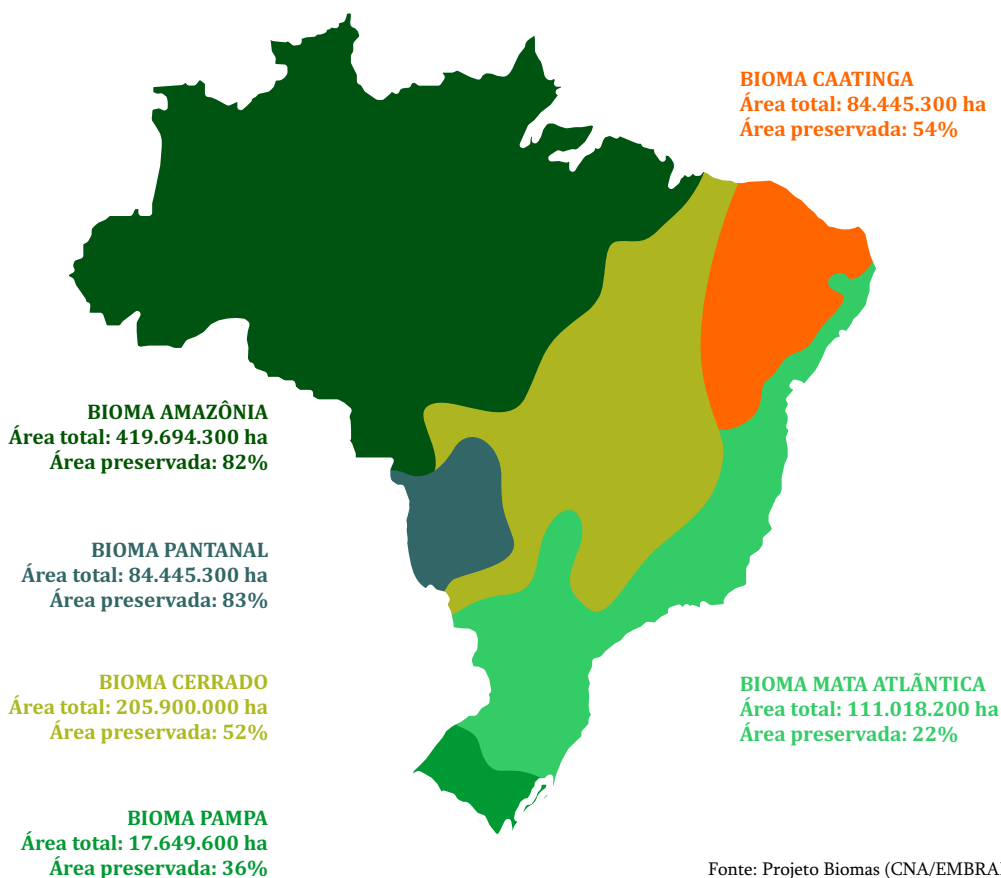
**Análise de *big data*:** Com novas metodologias de monitoramento e acompanhamento de variáveis sobre o estado dos solos, das culturas e dos animais, um enorme volume de dados é gerado. As tecnologias de aprendizado de máquina serão fundamentais para processar essas informações, gerando conhecimentos úteis a gestores de produção na tomada de decisões sobre competitividade e sustentabilidade.

Será imprescindível mudar a visão que se tem sobre o uso da terra, questionando a duvidosa sustentabilidade dos atuais sistemas de produção, que parecem sustentáveis em termos estáticos, no espaço de uma safra, mas são claramente insustentáveis quando considerados em várias safras. Deve-se também considerar que a intensificação, a integração e o aumento de complexidade dos sistemas de produção resultaram em problemas de doenças e pragas, como a mosca-branca, atualmente o maior problema comum às leguminosas, afetando soja e culturas similares. Por fim, a contínua exploração das capacidades físicas e químicas dos solos, e conseqüente queda na capacidade produtiva, é também um importante problema que requer soluções baseadas na ciência, bem como a adaptação das atividades agrícolas às mudanças climáticas.

Considerando tudo isso, a ABC elaborou uma proposta de agenda para os próximos anos de pesquisa brasileira na área de ciências agrárias, descrita a seguir.

# APROVEITAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

Como já foi dito, o Brasil tem ampla disponibilidade de recursos naturais e enorme variedade de condições climáticas e ambientais. Cada um dos seis grandes biomas do país – Amazônia, Pantanal, Cerrado, Pampa, Mata Atlântica e Caatinga – oferece vantagens e desafios particulares para a atividade agropecuária. Embora a preservação da biodiversidade deva ser, sempre, uma prioridade, a utilização racional desse recurso – embasada pela ciência – deve ser parte da estratégia nacional de desenvolvimento, no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável acordados entre os países membros da Organização das Nações Unidas em 2015.



Um dos desafios a serem enfrentados são os baixos níveis de matéria orgânica nos solos da Caatinga e do Cerrado. Embora o Brasil já seja líder na produção de alimentos, energias renováveis e fibras e já faça uso relativamente sustentável dos solos agrícolas – pois a agricultura, além de garantir segurança alimentar, também gera empregos, renda e boa qualidade de vida aos produtores e consumidores –, é necessário direcionar esforços de pesquisa sobre as causas naturais ou antrópicas da baixa fertilidade de alguns solos e da perda de fertilidade de outros.

#### CERRADO AMBIENTALMENTE SUSTENTÁVEL

Atualmente, o Cerrado é a principal região do país na produção de grãos como soja e milho, além de algodão e café irrigados, carne bovina, açúcar e etanol. Porém, o aproveitamento intensivo desse bioma pela pecuária e pela agricultura já começou a dar sinais de esgotamento, em especial por causa da degradação do solo. Além disso, as atividades agrícolas têm grande impacto sobre a perda da biodiversidade vegetal deste bioma e sobre a disponibilidade hídrica local. É prioritário, portanto, organizar a agricultura e a pecuária no Cerrado de modo a conservar os solos, as espécies nativas e os aquíferos, nascentes e cursos d'água.

Ainda no Cerrado, um problema importante é a deficiência nas infraestruturas e logísticas de apoio para armazenamento, transporte e comercialização da produção. Já na Caatinga, é necessário criar mecanismos para o uso eficiente da disponibilidade de água para o cultivo e a pecuária.

As desigualdades hídricas regionais devem ser um aspecto de permanente atenção, em especial no tocante aos locais onde a disponibilidade hídrica já está comprometida e há conflitos pelo uso da água. É urgente preparar uma estratégia sustentável que vise à evolução da economia baseada na utilização dos recursos renováveis, com ênfase na água, e apoiada no conceito de cadeia de valor.

Os projetos de pesquisa devem incorporar uma visão sistêmica do complexo hídrico, onde o curso d'água, em sua qualidade e quantidade, é reflexo das atividades que ocorrem na bacia hidrográfica como um todo. Um aspecto que merece atenção da comunidade científica é o aproveitamento de águas residuais – isto é, descartadas pelas atividades humanas. No futuro, as atividades produtivas deverão considerar os paradigmas da bioeconomia, que definem uma abordagem coerente, interdisciplinar e trans-setorial, com vistas a uma economia inovadora e de baixo carbono, que concilie necessidades da agricultura, uso das águas de chuva, especialmente no meio rural, e segurança alimentar e dos alimentos.<sup>[1]</sup>

Por fim, o aproveitamento dos recursos florestais deve ser outra área prioritária para a pesquisa em ciências agrárias. O Brasil é um dos países com maior vocação florestal no planeta, pois possui um dos mais extensos e diversos ecossistemas florestais naturais do mundo, e é líder em produtividade de florestas plantadas, suprindo com biomassa florestal sustentável demandas das indústrias e comunidades rurais.

No âmbito da produção das florestas naturais, ações importantes de pesquisa científica e tecnológica são relevantes na área de manejo sustentável de áreas de concessão florestal, incluindo a revisão dos planos de manejo e ciclos de corte determinados em lei, com base em estudos científicos da sustentabilidade das diferentes espécies dos respectivos biomas. Ainda, um novo paradigma de desenvolvimento deverá ser buscado para as florestas amazônicas, além da tentativa de reconciliação entre máxima conservação e intensificação de agricultura.

A demanda crescente por produtos florestais e bioenergia suscita, também, a necessidade de expansão massiva e acelerada da área de florestas plantadas. Essa expansão se dará principalmente em novas fronteiras agroflorestais sujeitas a estresses abióticos, como secas e geadas, e pressão biótica de pragas e patógenos, potencializados pelo efeito crescente de eventos climáticos extremos. Nesse contexto, a agenda científica deve prever a busca de soluções para manejo e produtividade das florestas plantadas. São, portanto, recomendações da ABC para a pesquisa brasileira na área de ciências agrárias e recursos naturais:

---

# 1

---

Desenvolver variedades agrícolas eficientes no uso da água e tecnologias de cultivo que economizem água;

# 2

---

Aplicar recursos da genética para a manipulação de plantas e animais, com a participação de equipes multidisciplinares para tratar os desafios de forma harmônica;

# 3

---

Investigar mecanismos que contribuam para aumentar a oferta hídrica, em especial os sistemas de conservação do solo, que estão em constante adaptação e evolução e apresentam grande potencial de reforço para os recursos hídricos, em termos de sua qualidade e quantidade;

# 4

---

Aprofundar o conhecimento de mecanismos para controle da erosão, dessalinização, redução da evaporação, aumento da infiltração e aumento da capacidade de retenção da água no solo;

# 5

---

Gerar conhecimentos que contribuam para melhorar a eficiência do uso da água na irrigação, incluindo reduzir perdas na condução, melhorar o manejo do sistema e a eficiência de uso, elaborar técnicas de gerenciamento da demanda e desenvolver culturas mais resistentes ao estresse hídrico;

# 6

---

Monitorar o uso dos solos para assegurar sua sustentabilidade, além de gerar informações e conhecimentos inovadores que promovam uma eficiência cada vez maior no uso dos nutrientes adicionados, via práticas de correção dos solos e adubação;

# 7

---

Buscar fontes alternativas de nutrientes – subprodutos de atividades agropecuárias e urbanas – para os diferentes sistemas de produção agrícola, priorizando aqueles que permitam produtividades máximas com maximização da eficiência das adubações e do uso de nutrientes;

# 8

---

Promover estudos sobre a sustentabilidade de espécies de interesse nos diferentes biomas, para subsidiar a revisão dos planos de manejo e ciclos de corte determinados em lei;

# 9

---

Desenvolver tecnologias de processamento da madeira, visando ao aumento da taxa de rendimento de toras;

# 10

---

Intensificar o uso de tecnologias de informação, georreferenciamento e veículos aéreos não tripulados no monitoramento e no inventário das áreas de exploração florestal;

# 11

---

Desenvolver e aplicar técnicas de genética molecular para identificação, rastreabilidade e certificação de madeira;

# 12

---

Desenvolver novos produtos e tecnologias de alto valor agregado a partir dos ativos existentes na biodiversidade da floresta amazônica, empregando tecnologias digitais avançadas, bio e nanotecnologias;

---

# 13

---

Promover ações coordenadas de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico em manejo, proteção, genética e biotecnologia florestal;

---

# 14

---

Introduzir, caracterizar, conservar e avaliar em campo novas variabilidades genéticas de espécies já utilizadas em plantios florestais, com o objetivo de identificar fontes de tolerância a estresses abióticos e resistência a pragas e patógenos de relevância florestal;

---

# 15

---

Criar uma plataforma de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies arbóreas nativas de alto potencial econômico, envolvendo coleta de germoplasma, domesticação, melhoramento genético, genômica e novas estratégias silviculturais, com o estabelecimento de florestas plantadas de espécies nativas para produção de diferentes produtos florestais;

---

# 16

---

Desenvolver novas tecnologias silviculturais para otimização conjunta de produtividade e sustentabilidade das plantações florestais, envolvendo nutrição mineral, uso da água, mecanização, manejo da matocompetição, tecnologias de propagação vegetativa, inventário e monitoramento florestal com veículos aéreos não tripulados;

# 17

---

Otimizar e renovar continuamente os Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária-Floresta<sup>[2]</sup> (ILPF), pois permitem produzir na mesma área, de forma simultânea e sustentável, produtos agrícolas, pecuários e florestais;

# 18

---

Intensificar a pesquisa para o desenvolvimento de técnicas avançadas de diagnose (via análise de DNA, sorologia e nanotecnologia), epidemiologia e controle de patógenos e pragas florestais, bem como práticas de manejo integrado, com ênfase em controle biológico e desenvolvimento de materiais genéticos resistentes a doenças, sempre atendendo aos requisitos de biossegurança;

# 19

---

Viabilizar o uso da madeira como matéria-prima para a produção de compostos de alto valor agregado e combustíveis de aviação, em substituição às fontes fósseis.



# PRODUTIVIDADE E SEGURANÇA NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Ao longo da história, a introdução de técnicas de melhoramento revolucionou a agricultura ao possibilitar a obtenção de variedades de plantas mais adaptadas às condições de cultivo. Porém, nas últimas décadas, o avanço dos estudos genéticos acelerou e muito a velocidade de obtenção das variedades desejadas. Com a progressiva queda nos custos do sequenciamento do DNA, os experimentos de melhoramento genético devem se tornar cada vez mais comuns. O potencial dessa área para as próximas duas décadas é enorme, com muitas e variadas aplicações.

No curto prazo, duas técnicas promissoras são o ressequenciamento e a genotipagem. Até cerca de 2030, outro avanço provável é o estabelecimento de um sistema eficaz de controle de recombinação gênica e eliminação genômica, em especial com o objetivo de obter plantas haploides (isto é, com um único conjunto de cromossomos) de maneira rápida e eficiente. Espera-se, assim, proporcionar o melhoramento genético com precisão e baixo custo.



Outra prática agrícola que tem avançado bastante em função das pesquisas científicas e que pode continuar avançando é o manejo de pragas. Feito de forma integrada, ele deve considerar critérios econômicos, ecológicos e sociais na hora de elaborar estratégias para manter as infestações no limite aceitável. Atualmente, os principais métodos são o controle biológico – utilização de macro ou micro-organismos, como insetos, ácaros, fungos, bactérias, vírus e nematoides, entre outros – e o uso de feromônios, compostos químicos produzidos por organismos vivos.

Ainda no contexto do manejo integrado de pragas e do aumento da produtividade agrícola, um aspecto importante a ser explorado pela ciência são as interações entre plantas e micro-organismos, no sentido de identificar as relações que ocorrem de forma espontânea na natureza e outras que poderiam ser introduzidas para beneficiar a agricultura. Nesse sentido, uma possibilidade é aplicar técnicas de biologia molecular ao melhoramento microbiano.

Paralelamente à pesquisa científica, é importante promover uma mudança de cultura entre os agricultores brasileiros, que tradicionalmente dão preferência ao uso de agroquímicos para o controle de pragas. Para que isso ocorra, no entanto, é fundamental que as novas estratégias de manejo de infestações estejam ao seu alcance, incluindo insumos biológicos de qualidade, fornecidos por empresas de alta tecnologia. A legislação específica para uso do controle biológico e de feromônios também precisa ser atualizada, de modo que permita melhorar a logística de armazenamento e transporte de insumos e ampliar o uso de novas tecnologias de liberação, incluindo, por exemplo, o uso de aviões e drones. Nesse contexto, a ABC recomenda que o Brasil coloque entre as prioridades de pesquisa nesta área:



---

# 1

---

Aperfeiçoar programas de melhoramento genético com tecnologias de marcadores e mapas moleculares, para que possuam a informação do sequenciamento genético completo de cada indivíduo testado, possibilitando aos pesquisadores a seleção de indivíduos a partir do *Genome Wide Selection* (GWS) para as principais culturas;

# 2

---

Incorporar técnicas contemporâneas de melhoramento molecular e biotecnologia – como edição gênica, biologia sintética e novas tecnologias de melhoramento – às pesquisas voltadas ao aperfeiçoamento de práticas agrícolas, incluindo a domesticação de espécies silvestres;

# 3

---

Aprofundar os estudos sobre a interação entre plantas e micro-organismos, em especial aqueles de utilidade para a agricultura, como os que promovem fixação de nitrogênio no solo, crescimento vegetal, controle de patógenos, produção de enzimas, biorremediação de poluentes etc.

# PRODUTIVIDADE E SEGURANÇA NA PECUÁRIA

Na criação de animais para produção de carne, leite e proteína, alguns dos principais desafios que a pesquisa científica pode ajudar a vencer são a veterinária preventiva, com ações sobre patógenos de alto risco biológico, especialmente aqueles de fácil dispersão e os exóticos; a busca por métodos de diagnóstico em vida; e o desenvolvimento de insumos para prevenção, vigilância, controle e tratamento de enfermidades.



Especificamente no caso dos ruminantes usados para produção de carne e leite, uma preocupação mundial são as encefalopatias espongiformes transmissíveis (EETs), incluindo aquela popularmente conhecida como “mal da vaca louca”, já identificada em países da Europa e da América do Norte. Essas doenças, embora raras, têm caráter neurodegenerativo e fatal. Causadas por príons, elas podem afetar, além do gado, animais domésticos e silvestres e também humanos, razão pela qual a biossegurança da cadeia bovina tornou-se prioritária para a indústria de carne e para os próprios consumidores.



Diante da demanda mundial crescente por proteína de origem animal, outro desafio importante é o aumento sustentável da produção de carne, leite e derivados, levando em consideração os novos padrões regulatórios dos países importadores.

Um entrave particularmente relevante para o desenvolvimento da pecuária no Brasil são as dificuldades encontradas na instalação e manutenção de laboratórios de diagnóstico, nos quais a maioria dos aparelhos e insumos é importada, o que torna o país seriamente dependente de pesquisas externas para resolução de problemas tipicamente nacionais. Essa dinâmica, além de comprometer a soberania tecnológica, encarece os custos dos diagnósticos, tornando o produtor incapaz de resolver os problemas sanitários dos rebanhos.

É importante ressaltar, ainda, que o Brasil não possui um banco de micro-organismos-padrão autóctones, à semelhança da *American Type Cell Culture (ATCC)*, dos Estados Unidos, o que compromete seriamente a qualidade dos diagnósticos realizados no país e a avaliação de insumos e vacinas oriundos do exterior. Outra deficiência é a fraca transmissão do conhecimento gerado nos institutos de pesquisa e universidades para o setor produtivo.

Assim, as sugestões para guiar o investimento em pesquisa e desenvolvimento na pecuária incluem:

# 1

---

Incorporar, na coleta de informações sobre a atividade agropecuária brasileira, informações sobre o zoneamento da produção e a caracterização genética e fenotípica de animais domésticos disponíveis;

# 2

---

Levantar, caracterizar e aferir a prevalência de doenças infecciosas nas diferentes espécies de animais domésticos, com o objetivo de, no futuro, desenvolver novos testes de diagnóstico veterinário e métodos de produção animal;

# 3

---

Priorizar a pesquisa e o desenvolvimento voltados aos problemas sanitários que impactam a produção e a produtividade – incluindo os variados agentes patológicos –, de modo a subsidiar políticas públicas nesta área;

# 4

---

Estabelecer estratégias específicas para gerar conhecimento que dê suporte às atividades de bovinocultura, avicultura, suinocultura, caprinocultura e ovinocultura (veja o quadro “Para cada atividade, uma estratégia”);

# 5

---

Promover a interação entre as instituições geradoras de conhecimento e o setor produtivo, de modo que as pesquisas se transformem de fato em inovações que beneficiem a pecuária nacional.

## PARA CADA ATIVIDADE, UMA ESTRATÉGIA

Cada área de atuação da pecuária enfrenta desafios particulares.

**Bovinocultura**

- Ampliar o conhecimento sobre as espécies ameaçadas de extinção, de modo a estabelecer programas de conservação e recuperação de recursos genéticos;
- Aumentar a produtividade nacional de leite – a título de comparação, a atual produtividade por vaca nos Estados Unidos é de 10 mil litros de leite/ano, mais de seis vezes a média nacional (1.609 litros/vaca/ano);
- Estimular estudos de cenários para a pecuária nacional, por exemplo, simulando o efeito de incrementos na produção de carne bovina no Brasil sobre as emissões de gases de efeito estufa;
- Inaugurar novas linhas de pesquisa, como os estudos em adaptação dos sistemas de produção frente às condições climáticas extremas, estudos em automação (em virtude da consistente redução da mão-de-obra), e estudos sobre pecuária de precisão, incluindo desenvolvimento e validação local de tecnologias de comunicação e informação que possibilitem tomadas de decisão cientificamente embasadas e em tempo real, com ganhos para a eficiência e a qualidade produtiva dos rebanhos.

**Avicultura**

- Modernizar as infraestruturas de transportes e logística, por meio de interações intermodais e do sistema de armazenamento de produtos agrícolas, para que os grãos que alimentam as aves sejam adequadamente preservados durante maiores períodos de estocagem;
- Investir na melhoria da utilização de sistemas climatizados para criação de aves, com coberturas e paredes isotérmicas, pressão negativa, placas evaporativas, automatização dos sistemas de ventilação e outras tecnologias que já estão disponíveis no mercado para minimizar efeitos naturais adversos e garantir melhores indicadores zootécnicos para as aves – contudo, o emprego desse pacote tecnológico está limitado pela falta de infraestrutura de distribuição elétrica, em diversas regiões;
- Prover o mercado de profissionais qualificados pelas instituições de ensino, pesquisa e extensão;
- Respeitar os princípios de bem-estar animal e sustentabilidade ambiental.

**Suinocultura**

- Desenvolver processos produtivos que assegurem o bem-estar animal, cada vez mais exigido por produtores e consumidores;
- Reduzir o dano ambiental causado pela criação de suínos em decorrência da produção de gases, em especial amoníaco e sulfato de hidrogênio, e das fezes, que contribuem para a contaminação dos rios e lençóis freáticos;
- Elaborar programas sanitários que incluam medidas preventivas para controlar doenças existentes e impedir a introdução de doenças exóticas.

**Caprinocultura e ovinocultura**

- Investir em tecnologias que permitam o aumento de produção, sem perder a qualidade;
- Combater doenças existentes, como as verminoses, e doenças exóticas adquiridas com a importação de material genético – como as lentivirose de pequenos ruminantes, que causam enormes prejuízos.

# AQUICULTURA E PISCICULTURA

O clima tropical e a enorme disponibilidade hídrica, com águas represadas em barragens de hidrelétricas, favoreceram o estabelecimento da aquicultura e da piscicultura no Brasil. Entre 2005 e 2015, a produção nacional de peixes de água doce cresceu 123%.<sup>[iii]</sup> Tilápia (*Oreochromis niloticus*) e tambaqui (*Colossoma macropomum*) são as principais espécies cultivadas e representam 62% de todo o pescado brasileiro. Entre as variedades de água salgada ou salobra, o camarão-branco-do-pacífico (*Litopenaeus vannamei*) e os moluscos bivalves (principalmente a ostra-japonesa *Crassostrea gigas* e o mexilhão *Perna perna*) são os mais representativos, com fazendas de produção concentradas nas regiões Nordeste e Sul, respectivamente.

Nesse contexto, o aumento da demanda por pescado e a estruturação do setor produtivo – incluindo empresas privadas, cooperativas e associações – trazem novos desafios para que o país cresça em produção e produtividade. Um deles é a simplificação do licenciamento ambiental, associada a uma política de incentivos semelhante àquelas destinadas a outras cadeias de produção animal. Também são questões importantes para aperfeiçoamento a organização da cadeia produtiva, a logística, a qualidade final dos produtos, a formação de arranjos produtivos que visem novos mercados e, principalmente, investimentos em *marketing* para melhor divulgação dos produtos oriundos da aquicultura e seus benefícios para a saúde humana, para a sociedade como um todo e para o meio ambiente.

Entre as contribuições que a ciência pode fazer para este setor estão:





---

# 1

---

Estimular a expansão de cursos de especialização em piscicultura nos estados das regiões Norte e Centro-Oeste, onde a produção de pescado vem crescendo nos últimos anos, mas com limitada mão-de-obra especializada;

# 2

---

Promover projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação aplicados à solução de problemas das cadeias produtivas de pescado e à elaboração e implementação de políticas públicas a curto, médio e longo prazos, visando aportar recursos para estimular a inovação, a modernização da infraestrutura e a formação continuada de recursos humanos, em suporte ao setor produtivo e às instituições de pesquisa, de modo a tornar a aquicultura brasileira competitiva;

# 3

---

Desenvolver programas de melhoramento genético de espécies aquáticas com mercado já estabelecido e realizar estudos sobre aspectos ambientais e hormonais da reprodução artificial, com adaptação e avaliação de tecnologias para a sustentabilidade dos sistemas de produção aquícola;

# 4

---

Aplicar tecnologias inovadoras para biorremediação e tratamento de efluentes e uso de bacias de sedimentação;

# 5

---

Gerar ou adaptar tecnologias que permitam detectar, avaliar e mitigar os riscos ambientais e biológicos na aquicultura via bioindicadores, biomarcadores ou sistemas de recirculação e tratamento de efluentes com biofiltros;

# 6

---

Realizar estudos para o aperfeiçoamento da ração oferecida aos animais cultivados, incluindo, por exemplo, a adição de imunostimulantes, fitoterápicos, pigmentos, aminoácidos, vitaminas, minerais, antioxidantes e ingredientes funcionais, ou a substituição de farinha de peixe por ingredientes de origem vegetal;

# 7

---

Aprimorar os métodos de diagnóstico rápido, tratamento, boas práticas e monitoramento voltados à avaliação da segurança do alimento, da sanidade e da qualidade ambiental dos sistemas de produção aquícola;

# 8

---

Promover o uso múltiplo e integrado dos recursos hídricos, de modo a incluir produtores familiares e comunidades tradicionais na aquicultura sustentável;

# 9

---

Desenvolver tecnologias e métodos para análise de qualidade da carne do pescado com técnicas de pré-abate e abate, alinhadas com premissas de bem-estar animal;

# 10

---

Estudar as diferentes cadeias produtivas da aquicultura, incluindo análises de risco e econômica do setor aquícola nacional e internacional.



# AGROENERGIA

Incluir a biomassa, como fonte renovável de energia, na matriz energética dos países tropicais é uma tendência global e uma grande oportunidade de desenvolvimento econômico e social. O Brasil tem condições de liderar esse processo, expandindo sua produção de biomassa com ações fundamentadas nos conceitos de densidade e eficiência energética de matérias-primas, processos e produtos. Essa situação gera uma gama de oportunidades para o desenvolvimento tecnológico, em especial nas áreas de biologia sintética, química renovável e rotas bioquímicas que agreguem valor a novos processos e produtos.

A biomassa vegetal é fonte primária de carboidratos estruturais, não estruturais e óleos que podem servir de alimento, fonte de energia e matéria-prima para a química verde – incluindo a química de biocombustíveis, a álcoolquímica, a oleoquímica e a termoquímica, além de seus derivados. Nesse contexto, deve ser prioritária para o país a criação de plataformas energéticas desenhadas para extrapolar o âmbito da produção agropecuária, incorporando inovações em toda a cadeia produtiva e contemplando, por exemplo, aspectos ligados à agroindustrialização, às questões de gestão e logística, aos impactos socioeconômicos e ambientais e aos cenários futuros mundiais da produção e do comércio, bem como a realização de pesquisas sobre tecnologias complementares ou concorrentes daquelas desenvolvidas no Brasil.

Os setores público e privado têm pelo menos duas importantes perspectivas relacionadas à agroenergia nos próximos anos: uma está centrada na diversidade e no volume dos recursos que o país tem para sua execução; outra, na visão incremental, ou mesmo disruptiva, de novas rotas tecnológicas.

O potencial biológico e industrial brasileiro pode ser claramente definido pela combinação entre componentes biológicos, obtidos na biodiversidade, e componentes bioquímicos e industriais – os processos de conversão dos componentes biológicos em insumos para o setor produtivo. Assim, é crucial direcionar esforços científicos, gerenciais e mercadológicos para agregar inovação às tecnologias de produção de bioenergia (etanol, biodiesel, biogás, gás de síntese, biomateriais e coprodutos), de modo a viabilizar a busca de processos competitivos que qualifiquem as equipes nacionais e internacionais para, em parceria, alcançarem saltos de competitividade e sustentabilidade.

A transição negociada de uma economia baseada no petróleo para uma bioeconomia calcada em processos de base biológica e energia renovável dependerá especialmente da disponibilidade de acordos internacionais e nacionais que criem diretrizes e metas norteadoras para essa mudança. Neste sentido, a 21ª Conferência das Partes (COP 21), realizada em 2015, foi um marco importante. O governo brasileiro se comprometeu a, até 2030, reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43%, em relação aos níveis de 2005.<sup>[iv]</sup> O cumprimento dessa meta pressupõe contribuições relevantes da indústria brasileira de biocombustíveis e, também, que o país se ajuste à tendência de consolidação do conceito de usinas, diversificando seu portfólio de produtos para produzir também biometano, bioplásticos e outros químicos renováveis.

## INTERAÇÃO ENTRE OS SETORES PÚBLICO E PRIVADO

Como descrito neste capítulo, o Brasil tem pela frente o desafio de produzir, de forma crescente e sustentável, alimentos seguros e mais saudáveis, fibras e energia, mas com disponibilidade decrescente de terras e dos demais insumos agropecuários. Para aumentar a eficiência e reduzir custos de produção, comercialização e reconversão de áreas degradadas, serão necessários investimentos adicionais em áreas de ponta, como biotecnologia, nanotecnologia, engenharia genética, tecnologia da informação e realidade virtual. Nesse sentido, é essencial ampliar as parcerias público-privadas para concepção, financiamento e implementação de ações de pesquisa.

Faz-se urgente a necessidade de criar um ambiente desburocratizado que fomente o investimento privado, motive o empreendedorismo na agricultura e amplie o ambiente de inovação contributiva entre os setores público e privado. Essa plataforma aberta e interativa criará naturalmente as interações necessárias para que o país continue na liderança da produção agropecuária, preservando o meio ambiente e fazendo a utilização sustentável e renovável dos recursos naturais.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

Os principais desafios que o Brasil precisa enfrentar em relação às ciências agrárias foram discutidos com mais profundidade em um livro em fase de preparação que será publicado em breve pela ABC:

VILELA, E. F.; RECH FILHO, E. L. (Ed.). **Biomass e agricultura: desafios e oportunidades**. Belo Horizonte: UFV/ABC/Fapemig. (No prelo).

Os interessados podem solicitar acesso a este livro pelo e-mail [evaldovilela@fapemig.br](mailto:evaldovilela@fapemig.br)

[1] A expressão segurança de alimentos vem do inglês *food safety* e se refere a medidas que permitam o controle de agentes que, em contato com o alimento, promovam risco à saúde do consumidor. Já a segurança alimentar (do inglês *food security*) assegura aos cidadãos o acesso a alimentos com qualidade nutricional e em quantidade apropriada a uma vida saudável e ativa.

[2] Saiba mais em <<https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf>>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[i] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **How close are we to #ZeroHunger?: the state of food security and nutrition in the world**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/en/>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

[ii] AGROLINK. **FAO/ONU espera que dos 1,5 bilhão que precisam ser produzidos em grãos no mundo até 2050, o Brasil responda por 40%**. 2016. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/noticias/fao-onu-espera-que-dos-1-5-bilhao-que-precisam-ser-produzidos-em-graos-no-mundo-ate-2050--o-brasil-responda-por-40-\\_366854.html](https://www.agrolink.com.br/noticias/fao-onu-espera-que-dos-1-5-bilhao-que-precisam-ser-produzidos-em-graos-no-mundo-ate-2050--o-brasil-responda-por-40-_366854.html)>. Acesso em: 06 jun. 2018.

[iii] REYNOL, F. Aquicultura brasileira cresce 123% em dez anos. **Embrapa Notícias**, 13 dez. 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18797150/aquicultura-brasileira-cresce-123-em-dez-anos>>. Acesso em 9 abr. 2018.

[iv] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>>. Acesso em 9 abr. 2018.



---

# 7

## CLIMA EM TRANSFORMAÇÃO

---

BRASIL PRECISA DE ESTRATÉGIAS COERENTES  
PARA MITIGAR EMISSÕES, MINIMIZAR OS EFEITOS  
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SE ADAPTAR A ELES

**A**umento de temperatura, derretimento das calotas de gelo polares, intensificação das secas, enchentes, furacões, aumento do nível do mar: os efeitos das mudanças climáticas já estão ocorrendo e afetando ecossistemas, com fortes impactos socioeconômicos. Hoje, cientificamente, é possível atribuir esses efeitos às ações antrópicas, como o aumento na emissão de gases de efeito estufa (GEE) por processos como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento de florestas tropicais, entre outros.

Para quantificar pelo menos em parte o problema, sabe-se que, antes da revolução industrial, a concentração atmosférica média de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) era de 280 partes por milhão (ppm).<sup>[i]</sup> Em 2018, o índice já ultrapassou 402 ppm.<sup>[ii]</sup>

A elevação dos níveis de GEE na atmosfera altera profundamente vários aspectos do funcionamento do planeta, como o balanço de radiação, a disponibilidade hídrica e a biodiversidade, sem falar na temperatura. O aumento médio global de temperatura no período já é de 1,2°C – em áreas continentais como o Brasil, o índice atingiu 1,5°C. Em projeções futuras, estima-se que o aumento médio de temperatura no Brasil possa atingir entre 4°C e 7°C, com sérios impactos socioeconômicos.

O entendimento do complexo sistema climático terrestre em todas as suas componentes físicas e naturais, em conjunto com a elaboração de estratégias para minimizar o impacto das ações humanas sobre ele e adaptar as atividades antrópicas às novas condições climáticas, é um dos maiores desafios científicos da atualidade.

O Brasil, em particular, tem forte papel de liderança global na pesquisa em mudanças climáticas, particularmente em temas como quantificação, monitoramento e modelagem dos processos de interação biosfera-atmosfera – em que se destacam trabalhos sobre os biomas Amazônia, Pantanal, Cerrado e Caatinga. Mas um esforço muito maior precisará ser feito para enfrentar, nas próximas décadas, os impactos ambientais e climáticos.

Relatórios recentes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas<sup>[i]</sup> (IPCC) e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas<sup>[iv]</sup> (PBMC) sugerem que os extremos de tempo e clima no Brasil serão mais frequentes e intensos, afetando sistemas humanos e naturais. Na última década, extremos climáticos de grande magnitude – como as secas na Amazônia em 2005, 2010 e 2016; as enchentes na mesma região em 2009, 2012 e 2014; a seca plurianual no Nordeste, que começou em 2011 e ainda perdura em 2018; e a seca do Sudeste em 2014 e 2015 – são exemplos claros de que o país é vulnerável aos extremos de clima que já estão ocorrendo. Estratégias de adaptação climática terão que ser desenvolvidas para garantir a resiliência dos sistemas humanos e naturais às variações do clima.





É fundamental intensificar estudos de impactos das mudanças climáticas em vários setores estratégicos nacionais, incluindo segurança hídrica, alimentar e energética, bem como impactos em saúde, economia, biodiversidade e ocorrência de desastres naturais intensificados. Além disso, o Brasil não possui ainda – e precisa realizar – estudos sólidos da vulnerabilidade de áreas urbanas e cidades costeiras frente aos impactos decorrentes das mudanças climáticas, considerando extremos de chuva, elevação do nível do mar e desastres naturais como enchentes, secas e deslizamentos de terra.

Por fim, saber comunicar para a população e para os tomadores de decisão os resultados e impactos da pesquisa em mudanças climáticas é tarefa essencial da ciência hoje. A participação de especialistas em educação ambiental e comunicação poderá ajudar a melhorar a interação entre os cientistas, a população e os tomadores de decisões nos vários níveis de governo.

A seguir, este capítulo apresenta algumas perspectivas na ciência das mudanças globais, incluindo questões estratégicas e temas transversais relevantes para a formulação de políticas públicas para o Brasil. Como a temática é muito extensa, foram selecionados os temas considerados pelos autores como os mais importantes para o desenvolvimento científico do país na área de mudanças climáticas.



---

# MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

O Brasil precisa de bases científicas sólidas para orientar o cumprimento de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas – ou NDC, na sigla em inglês que se refere ao compromisso de redução de emissões assumido por cada país no Acordo de Paris. Entre as metas brasileiras estão alcançar 45% da matriz energética vindo de fontes renováveis, incluindo a hidrelétrica; zerar o desmatamento ilegal em quinze anos; restaurar 12 milhões de hectares de florestas; e reduzir 43% das emissões de gases de efeito estufa até 2030, em comparação aos níveis de 2005. São metas que exigem ações bem coordenadas do governo com a sociedade.

Em observação à meta de redução de emissões, vale notar uma peculiaridade do cenário brasileiro, que é a participação importante de diferentes áreas da economia: setor florestal, agricultura e pecuária, com emissões advindas de atividades associadas ao desmatamento da Amazônia; e setor energético, com emissões associadas a produção, transporte e uso de energia. Para a redução do desmatamento, já existem planos que, se cumpridos à risca, terão grande eficácia na redução de emissões – por exemplo, a legislação contra o desmatamento e o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono).<sup>[ii]</sup>

Já o controle das emissões do setor energético envolve alguns desafios adicionais. Há oportunidades de inovação em tecnologia, mas é preciso, para explorá-las, identificar os requisitos para um futuro desejável, onde haja abastecimento estável e contínuo de energia com sustentabilidade ambiental, a preços razoáveis. Essa inovação pode se dar tanto no lado da oferta (setor elétrico e de produção de combustíveis) quanto da demanda (setores de consumo final) de energia.



No setor elétrico, o desenvolvimento de turbinas hidrocínéticas, a criação de usinas reversíveis e a repotenciação – isto é, a renovação de usinas que já estão em atuação há muitos anos – são possíveis caminhos para ampliar a participação da hidroeletricidade na matriz energética brasileira. Novas fontes de energias renováveis requerem mais pesquisa e desenvolvimento: é o caso das tecnologias fotovoltaicas, que precisam ser adequadas às condições de temperatura e insolação do país; da energia heliotérmica, conhecida como aquecimento de água por painéis solares; e da geração eólica, que deve ser adequada às condições de vento locais. As usinas termelétricas existentes necessitam de inovação para viabilizar ciclos termodinâmicos mais eficientes, como usinas termelétricas de queima supercrítica e térmicas de ciclos combinados flexíveis.

No setor de produção de combustíveis, pesquisa e desenvolvimento são fundamentais para possibilitar exploração, produção e refino de petróleo com menores emissões e para definir melhor o papel das biorrefinarias no sistema econômico e na produção de combustíveis de segunda geração (etanol celulósico, bioquerosene, biobunker, diesel de cana etc.), especialmente na parcela do setor de transportes mais difícil de ser eletrificada.

Do ponto de vista do consumo final de energia, há oportunidades de geração distribuída, aumento da eficiência energética e descarbonização em todos os setores. A inovação terá um papel fundamental para que essas oportunidades se tornem mais custo-efetivas e disseminadas. Nesse sentido, é necessário um esforço científico multidisciplinar, incluindo, por exemplo, estudos nas áreas de ciências sociais aplicadas, relativos a economia, regulação e mobilidade urbana e de carga, entre outros. A questão que envolve geração, consumo e distribuição de energia no Brasil será abordada em mais detalhe no **Capítulo 10**.

## RESILIÊNCIA, UM DESAFIO SOCIAL E ECONÔMICO

Imaginar um futuro de baixas emissões de carbono requer repensar a própria relação da sociedade com o consumo de energia e matérias-primas, em um novo contexto de restrições estabelecidas por acordos climáticos globais. Nesse sentido, o Brasil precisa orientar seu desenvolvimento socioeconômico para a formação de uma sociedade mais resiliente às mudanças climáticas, além de mais eficiente no uso e na produção de energia. Alguns caminhos para isso são:

- Analisar cenários alternativos para a implementação do Acordo de Paris e a redução das emissões, incluindo modelos voluntários, em que não há taxação de carbono, e outros mais agressivos;
- Desenvolver cenários de crescimento econômico para os próximos 20 ou 30 anos, com ênfase na projeção da demanda de energia e na busca de fontes sustentáveis de energia;
- Avaliar questões distributivas, por exemplo, reduzir emissões sem repassar o custo para o consumidor e vislumbrar a coesão regional em um contexto de baixas emissões;
- Orientar mudanças nos padrões de consumo de energia, estimulando consumo consciente e uso eficiente de energia e recursos naturais e identificando oportunidades para o setor produtivo nacional;
- Aproveitar as vantagens comparativas que o Brasil tem em seu modelo de economia baseada no uso de recursos naturais, que podem inclusive aumentar com as limitações de emissões e o fortalecimento da sustentabilidade global.

# IMPACTOS SOBRE OS GRANDES BIOMAS BRASILEIROS

Amazônia, Cerrado, Pantanal e Caatinga estão sofrendo profundas alterações pela mudança de uso do solo e outros fatores de grande impacto sobre o clima, como, por exemplo, mudanças nos ciclos hidrológico e biogeoquímico. Os ciclos biogeoquímicos de carbono, fósforo e nitrogênio mantêm o equilíbrio ecossistêmico dos biomas e controlam o seu funcionamento, indicando como os ecossistemas processam nutrientes essenciais. Embora o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) já tenha desenvolvido excelentes tecnologias de monitoramento de uso do solo, o aproveitamento dessas ferramentas para a preservação dos ecossistemas esbarra na falta de interesse governamental em reduzir a destruição dos biomas críticos para o país. Sem uma política consistente de controle do uso do solo, as consequências negativas já começaram a aparecer, com alterações no ciclo hidrológico em várias regiões, colocando a integridade dos biomas em risco.

O caso da Amazônia talvez seja o mais conhecido.<sup>[v]</sup> Em 2005, a taxa anual de desmatamento no bioma foi de 27.772 km<sup>2</sup>. Em 2011-2012, esse número havia caído para 4.571 km<sup>2</sup> anuais, porém, manteve-se no mesmo patamar até 2014, o que demonstra um esgotamento das políticas de redução do desflorestamento da região. A partir de 2015, a taxa de desmatamento voltou a subir, alcançando 7.893 km<sup>2</sup> e ameaçando a implementação das metas brasileiras de redução de emissões de gases de efeito estufa no Acordo de Paris.



Tanto por sua biodiversidade e extensão geográfica quanto pelos fortes mecanismos de interação de suas florestas com o clima regional e global, a Amazônia precisa ser foco de pesquisas e políticas públicas específicas de conservação. A floresta controla uma série de processos físico-químicos que influenciam a taxa de formação de nuvens, a concentração de vapor de água, o balanço de radiação de energia e a emissão de gases de efeito estufa, entre outras propriedades com efeitos climáticos, e, por isso, é fundamental para o equilíbrio do clima regional e planetário.<sup>[vi]</sup>

Em relação aos outros biomas, destacam-se a longa seca no Nordeste, que está trazendo importante estresse hídrico à Caatinga – um bioma exclusivamente brasileiro – e as mudanças de uso de solo no Cerrado e no Pantanal, que afetam sobremaneira o funcionamento ecológico e os serviços ambientais desses biomas. Frente a este cenário, é fundamental que o país estruture um sistema de monitoramento ambiental amplo que possa acompanhar a evolução dos ecossistemas e a efetividade das políticas públicas para sua proteção.

## BIODIVERSIDADE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Ao mesmo tempo em que a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados são vulneráveis e sofrem impactos decorrentes das mudanças climáticas, eles são parte essencial no processo de adaptação da sociedade aos novos cenários climáticos que se desenham. O estudo das relações entre biodiversidade e mudanças climáticas ainda é deficiente no Brasil, com lacunas que vão desde sistemas de informação básicos (por exemplo, dados sobre ocorrência e distribuição de espécies) até análises complexas das inter-relações entre clima, biodiversidade e sociedade. É fundamental que a comunidade científica brasileira volte o olhar sobre essas relações.

Do ponto de vista da biodiversidade como parte da solução para o enfrentamento das mudanças climáticas, vale ressaltar a abordagem da adaptação baseada em ecossistemas, que reduz a vulnerabilidade social a partir da conservação ou restauração dos serviços ecossistêmicos, ao mesmo tempo em que remove gases de efeito estufa. Este é um tema que ainda merece aprofundamento científico no Brasil e no mundo e que pode estar no cerne das políticas públicas sobre adaptação e mitigação das mudanças no clima.

O atual sistema de monitoramento ambiental brasileiro observa mudanças nos usos da terra e da cobertura vegetal, em relação às espécies nativas, aos cultivos agrícolas e às áreas em regeneração. Vários estudos sobre a dinâmica de desmatamento e alteração de florestas e vegetações nativas vêm sendo realizados, sobretudo com dados de satélite e levantamentos de censos estatísticos. Contudo, ainda há muito por fazer. As recomendações da ABC neste tema são:

1

---

Intensificar as pesquisas em ciclagem de carbono em cada bioma brasileiro, fundamentais para que o país entenda os processos que controlam os ciclos biogeoquímicos em diferentes escalas;

2

---

Aprofundar o entendimento da variabilidade natural e das alterações no ciclo hidrológico induzidas pelas mudanças globais, de modo a conhecer a vulnerabilidade de cada bioma ao estresse hídrico e seus impactos no estoque de carbono, incluindo os efeitos do El Niño-Oscilação Sul (Enos) nos ecossistemas;



---

# 3

---

Investigar a química da atmosfera, particularmente em relação à emissão de aerossóis e gases reativos responsáveis pela formação de ozônio (óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono) e gases de efeito estufa (dióxido de carbono, óxido nitroso, metano) – vale notar que a interação aerossóis-nuvens é diferente em cada região, devido às diferentes condições termodinâmicas da atmosfera e de disponibilidade de vapor de água e aerossóis;

# 4

---

Avançar a compreensão dos efeitos da substituição de habitats naturais por outros usos da terra sobre o regime de chuva local e regional;

# 5

---

Promover o estudo das dimensões humanas associadas aos processos de alteração dos biomas, identificando mecanismos socioeconômicos que atuam nesses processos;

# 6

---

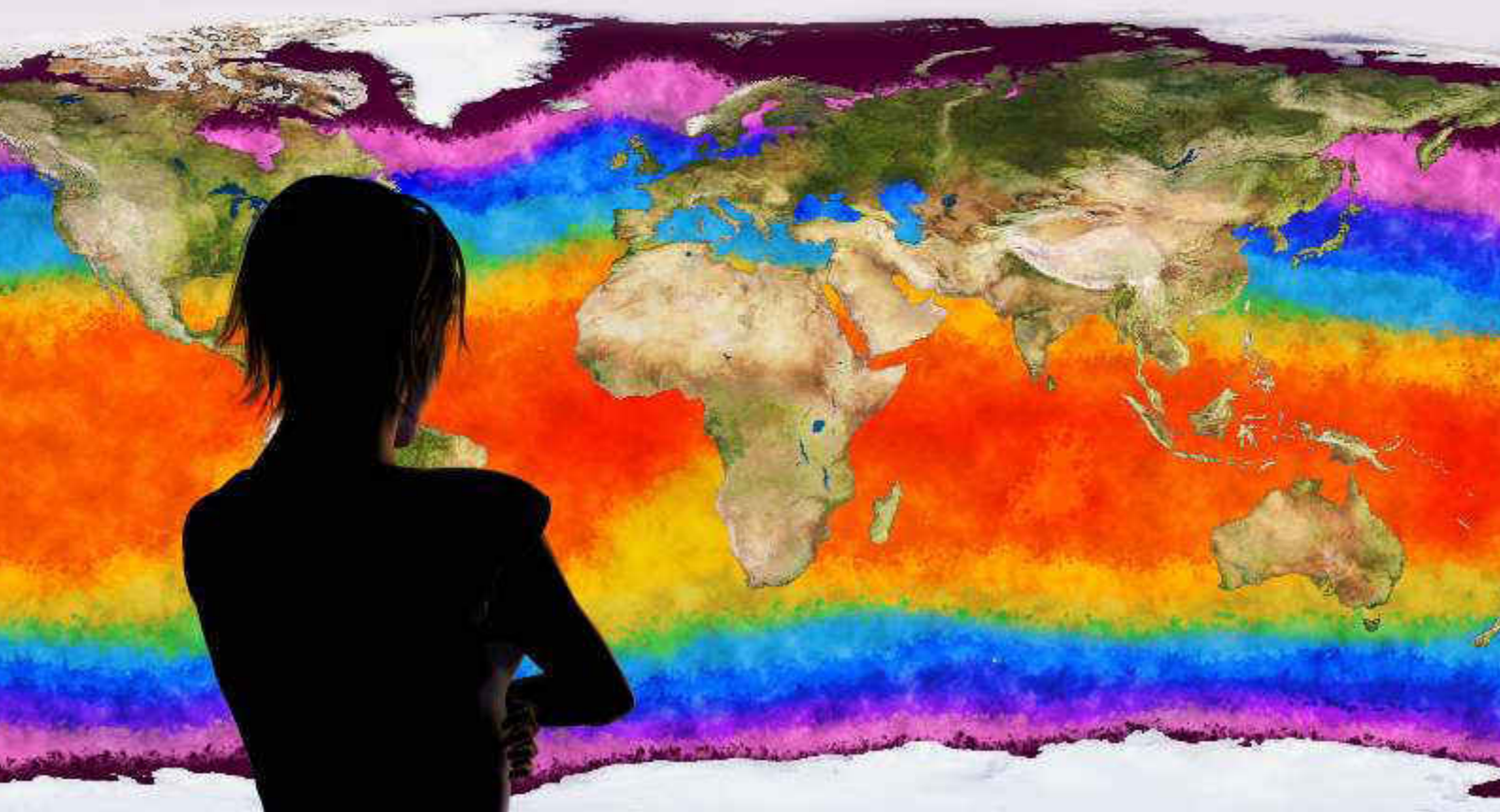
Contribuir com o monitoramento da implementação e do desempenho da Contribuição Nacionalmente Determinada brasileira no Acordo de Paris.

# APERFEIÇOAMENTO DA MODELAGEM CLIMÁTICA

Apesar do grande progresso atingido nas últimas décadas com relação ao detalhamento e ao realismo dos processos físicos, químicos e biogeoquímicos incluídos nos modelos climáticos globais e regionais, as simulações e projeções do clima ainda contêm incertezas. Elas estão associadas, principalmente, à dificuldade que se tem de representar numericamente os processos climáticos não lineares e os aspectos randômicos dos determinantes do clima, assim como ao desconhecimento de alguns complexos processos atmosféricos.

Mesmo com essas limitações, os modelos numéricos do clima são atualmente a melhor ferramenta para testar hipóteses científicas e analisar como o sistema climático global poderá reagir se a temperatura média da Terra continuar aumentando em função do aumento dos GEE. A modelagem climática também permite avaliar riscos e vulnerabilidades, por exemplo, nos ciclos hidrológicos e nos processos de geração de energias renováveis – principalmente hidrelétrica, eólica e solar –, o que lhe confere caráter estratégico ao país.

Nesse sentido, a ABC propõe incluir entre as prioridades de pesquisa:



---

# 1

---

Investir na pesquisa básica para melhoria do conhecimento do funcionamento do sistema climático: melhorar a coleta de dados meteorológicos e físico-químicos da atmosfera, da superfície terrestre e do oceano; ampliar a capacidade de processamento de informações e geração de cenários climáticos futuros por meio de sistemas computacionais de alta performance; e aperfeiçoar a gestão e o compartilhamento da informação climática disponível no Brasil;

# 2

---

Melhorar a capacidade de previsão do clima em todas as escalas, desde meses até anos, décadas e séculos, em consonância com as prioridades estabelecidas por órgãos internacionais como a Organização Meteorológica Mundial;

# 3

---

Intensificar a geração de dados observacionais com alta densidade espacial e temporal, como já é realidade em alguns continentes, como o asiático, o europeu e o norte-americano – a proteção da população contra as mudanças climáticas passa por um profundo investimento na análise baseada em dados observacionais de boa qualidade e densa cobertura sobre urbanização, poluição, desmatamento etc.;

# 4

---

Viabilizar uma abordagem científica integrada para a atribuição das causas de eventos extremos, como as secas observadas no Nordeste brasileiro e na Amazônia, incluindo estudos observacionais que expliquem as anomalias analisadas, suas relações com precursores e padrões globais e o papel local da ação humana, além do papel dos GEE.

# EVENTOS EXTREMOS E DESASTRES NATURAIS

Desastres naturais ocorrem como consequência de uma combinação letal de eventos extremos de tempo e clima que atingem sistemas sociais ou regiões que apresentam alta exposição e vulnerabilidade a esses extremos. Eles causam impactos significativos para o equilíbrio social, econômico, físico, psicológico e ambiental das populações e áreas atingidas. No Brasil, os desastres naturais que causam os maiores prejuízos e perdas de vidas humanas são aqueles de ordem hidrometeorológica, incluindo inundações, enxurradas, deslizamentos de terra e secas. Suas consequências são agravadas pela ocupação humana em áreas de risco e pela falta de planejamento e gestão urbana e de gestão de risco de desastre.

Mudanças climáticas induzem alterações na frequência, na intensidade, na dimensão espacial, na duração e no calendário dos eventos extremos de tempo e clima, o que pode resultar em desastres naturais sem precedentes em áreas vulneráveis no meio urbano e rural. As evidências apontam que a frequência e a intensidade desses eventos estão aumentando. Mas é importante, no entanto, ressaltar que os eventos extremos são raros e de baixa probabilidade de ocorrência, embora de alto impacto socioeconômico.

No Brasil, a deficiência de dados disponíveis para fazer avaliações referentes aos extremos de clima no tempo presente dificulta as projeções futuras. Em paralelo, o crescimento populacional e a invasão de áreas de risco para assentamentos humanos ou para produção agrícola aumentam a vulnerabilidade da população aos extremos, resultando em uma ameaça real para milhares de pessoas em regiões urbanas e rurais no país.

É possível minimizar os efeitos trágicos de desastres naturais decorrentes das chuvas intensas, mas, para isso, são necessários planos de prevenção e de gestão de riscos baseados em ciência. É fundamental, também, informar população e governos, em especial nos setores mais vulneráveis, sobre a percepção de risco de ocorrência de desastres no presente e no futuro, além de intensificar o monitoramento ambiental, a fim de estabelecer estratégias de gestão de risco de desastres naturais e reduzir seus impactos.

Portanto, o Brasil deve priorizar, no tema dos eventos climáticos extremos e desastres naturais:

---

# 1

---

Analisar e compreender que fatores ambientais causam os desastres naturais, considerando eventos extremos de tempo e clima, a partir da coleta e da disponibilização de dados físicos e ambientais relacionados a eles – por exemplo, intensidade, quantidade, distribuição e frequência de chuvas, temperaturas extremas, características e teor de umidade, assim como mudanças no uso da terra, particularmente em áreas de risco;

# 2

---

Investigar o histórico dos extremos climáticos, principalmente de chuvas e temperatura, para melhorar o entendimento da natureza desses extremos, o que vai ajudar na previsão do risco de enchentes, enxurradas, secas ou deslizamentos de terra e nas projeções futuras do risco de ocorrência desses desastres;

# 3

---

Possibilitar a regionalização das projeções climáticas e da ocorrência futura de extremos no país, que, combinadas a dados socioambientais em alta resolução, possam permitir projeções de risco de ocorrência de desastres;

# 4

---

Investir em coleta e análise de dados socioeconômicos para mapear áreas e populações mais vulneráveis aos desastres naturais e propor estratégias de adaptação e redução de risco capazes de guiar políticas públicas – isso inclui estudos da ocupação irregular das planícies e margens de cursos d'água, da disposição irregular de lixo nas proximidades de corpos hídricos e das alterações de bacia hidrográfica, entre outros.

# VULNERABILIDADE DE ÁREAS COSTEIRAS

No Brasil, muitas áreas urbanas importantes estão situadas ao longo da costa. A exploração econômica das áreas costeiras é, portanto, uma atividade extremamente relevante. Por outro lado, é importante compreender que cada região e cada tipo de ecossistema costeiro tem vulnerabilidades particulares, que devem ser observadas a fim de viabilizar a exploração sustentável desses recursos.

Nesse contexto, a criação de Áreas Marinhas Protegidas (AMPs) que envolvam áreas terrestres e marinhas tem se mostrado internacionalmente uma estratégia de ação vitoriosa, com a valoração contínua dos serviços ecossistêmicos prestados. Um exemplo brasileiro em que essa estratégia poderia ser útil são os manguezais no Nordeste: os efeitos das mudanças climáticas e o aumento da elevação do nível do mar têm provocado uma migração adaptativa dos manguezais terra adentro, porém, sem o estabelecimento de AMPs, essas novas áreas ficam sujeitas ao processo de degradação impulsionado pela pressão antrópica, uma vez que a legislação vigente não garante sua proteção.

Merece atenção também o fato de que o clima das regiões costeiras sofre grande influência dos oceanos. O impacto de fenômenos que acontecem no Atlântico Sul, como a célula de revolvimento meridional do Atlântico e o Vazamento das Agulhas, é um tópico de pesquisa altamente relevante para o entendimento do clima global (veja o quadro “A resposta pode estar nos oceanos”) e, em particular, para o Brasil, uma vez que o litoral brasileiro é banhado em toda sua extensão pelo Atlântico – é de se esperar, portanto, que mudanças nas condições oceânicas tenham impactos consideráveis na oceanografia, na geomorfologia e no ecossistema das zonas costeiras do país.

## A RESPOSTA PODE ESTAR NOS OCEANOS

Os oceanos têm enorme contribuição para o clima global. Nas regiões costeiras, essa influência é ainda mais evidente. A célula de revolvimento meridional do Atlântico, mais conhecida por seu acrônimo em inglês, AMOC, é um conjunto de correntes oceânicas pelas quais as águas mais quentes do Atlântico Sul são transportadas para o norte. Em consequência, no Atlântico Norte, o calor é liberado para a atmosfera e as águas, de alta salinidade, afundam e voltam em direção do sul.

O transporte de calor proporcionado pela AMOC equivale a cerca de 1,2 petawatts – quase mil vezes a energia gerada pela usina de Itaipu. Por isso, alterações nessas correntes podem resultar em impactos significativos no clima global e regional. Esses impactos já foram apontados em estudos paleoclimáticos que relacionaram mudanças abruptas no clima a variações na AMOC.<sup>[1]</sup> Segundo modelos acoplados oceano-atmosfera, nas próximas décadas, a AMOC pode enfraquecer em decorrência do derretimento do gelo nas regiões polares. Paralelamente, outras mudanças na circulação do Atlântico Sul vêm sendo associadas ao aquecimento global, como o aumento do importe de águas quentes e mais salinas do oceano Índico, fenômeno conhecido como Vazamento das Agulhas.



Por exemplo, pesquisas já mostraram possíveis correlações entre o aumento do Vazamento das Agulhas e alterações do regime de precipitação ao longo do litoral nordeste do Brasil. Além disso, associado à intensificação da circulação de grande escala na direção da costa brasileira, o aumento da temperatura do oceano é responsável, em grande parte, pelo aumento acelerado do nível do mar, sobretudo nas regiões tropicais.

A seguir, sugere-se ações de pesquisa científica direcionada à avaliação da vulnerabilidade de áreas costeiras no Brasil:

# 1

---

Estabelecer uma rede de observação de longo período de variáveis meteo-oceanográficas essenciais (ventos, ondas, correntes etc.) em todo o litoral brasileiro e acompanhar a evolução da linha de costa nas regiões sujeitas a maior ação erosiva, com atenção para a manutenção dos serviços ecossistêmicos de proteção da linha de costa, propiciados naturalmente pelos recifes e manguezais;

# 2

---

Subsidiar a reavaliação e a adequação de instrumentos legais, com ênfase nos planos de urbanização municipais, identificando estratégias de planejamento e habilidades locais para transformar as informações científicas em instrumentos efetivos de adaptação e mitigação específicos para cada região ou ecossistema costeiro do país.



# URBANIZAÇÃO: PREOCUPAÇÃO CRESCENTE

O Brasil tem alta taxa de urbanização, com a grande maioria da população vivendo em centros urbanos. Várias importantes regiões metropolitanas já ultrapassaram a marca de 5 milhões de habitantes. Em geral, esses aglomerados urbanos cresceram em uma velocidade tão alta que não permitiu planejamento adequado em termos de acesso a serviços e ao trabalho. Por isso, há grande concentração das populações mais pobres nas periferias. Alia-se a isso a precariedade do transporte público e, como resultado, vê-se um aumento do número de veículos e viagens individuais, o que faz do sistema de transportes uma das principais fontes de emissão de poluentes (os chamados poluentes de tempo de vida curto) e de gases de efeito estufa.



Ao mesmo tempo, poucas áreas metropolitanas prepararam seus inventários de emissões de poluentes e planos de redução dessas emissões, em especial dos GEE. Assim, as cidades constituem, hoje, os principais agentes para a emissão de poluentes – pelas diferentes fontes além do transporte – no Brasil, e são, também, as regiões que mais estão sujeitas aos impactos dos eventos climáticos. Por isso, têm papel fundamental na mitigação das emissões e também na adaptação às mudanças climáticas.

Com poucas exceções, as cidades brasileiras não têm estrutura para o enfrentamento de chuvas intensas (que causam enchentes, deslizamentos de terra e contato com águas contaminadas), temperaturas elevadas (que afetam especialmente os idosos) e ondas de frio (que atingem principalmente os moradores em residências precárias). Além disso, a população fica exposta a altas concentrações de poluentes urbanos, o que é reconhecido como importante fator de mortalidade e morbidade.

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS AMEAÇAM A SEGURANÇA HÍDRICA

Variações no clima são responsáveis, em grande parte, por variações na disponibilidade de água no planeta. Mudanças climáticas alteram a dinâmica de chuvas e a vazão das bacias hidrográficas, o que pode levar à ocorrência de secas e enchentes e dificultar o acesso à água. Nos últimos 20 anos, o Brasil observou um aumento na incidência desses eventos, o que é visto com preocupação devido aos seus potenciais impactos sociais e econômicos. Entre os grupos vulneráveis a esses impactos estão comunidades ribeirinhas na Amazônia e agricultores de subsistência no semiárido, mas também grandes cidades, como São Paulo e Brasília, entre outras, que apresentam risco de passar por crises hídricas causadas por uma combinação de redução de chuvas e aumento na temperatura e no consumo de água.

---

Pelo exposto, a ABC recomenda que a agenda de pesquisa em mudanças climáticas e urbanização inclua:

# 1

---

Elaborar um plano nacional para as cidades que identifique a melhor estratégia de mitigação de emissões do setor de transporte urbano;

# 2

---

Estabelecer diretrizes baseadas em ciência para o ordenamento territorial urbano nas cidades em processo de crescimento, incorporando informações sobre o risco que as mudanças climáticas impõem à infraestrutura e à população urbana no planejamento e na gestão dessas cidades;

# 3

---

Desenhar e implementar estratégias que possibilitem manter e melhorar a infraestrutura urbana por meio da gestão integrada, que visa à melhoria dos serviços locais de saúde, transporte, saneamento, habitação, alimentação e educação, entre outros, de modo a evitar que os desastres naturais agravem o quadro de doenças físicas e mentais, as mortes, a ruptura social e as perdas econômicas e ambientais nas cidades;

# 4

---

Unir especialistas de diversas áreas do conhecimento – clima, engenharia, saúde, biologia, planejamento urbano, economia e educação, entre outras – para apresentar aos gestores das cidades e sua população, de forma clara, objetiva e aplicável à realidade local, os respectivos riscos climáticos e apoiar o estabelecimento de estratégias para evitá-los, mitigá-los e respondê-los com o menor impacto e custo possível.

# DESAFIOS PARA A AGRICULTURA

A agricultura brasileira é altamente vulnerável ao aquecimento global. Café, soja, milho, cana-de-açúcar, arroz, feijão e mandioca são algumas culturas importantes no Brasil e que têm sofrido grandes impactos das mudanças climáticas.<sup>[iii]</sup> Em projeções de cenários futuros até 2100, considerando o aumento de temperatura nas taxas atuais, de aproximadamente 0,3°C por década, especialistas também preveem impactos na agricultura familiar – por exemplo, na produção de milho e milho safrinha, entre outros. No cenário mais extremo, as regiões mais atingidas seriam o semiárido e parte da Amazônia, e a diminuição de produção, drástica: em 2085, estima-se uma redução de 97,2% para o milho safrinha, 81,2% para a soja e 71,9% para o feijão.<sup>[vii]</sup>

Para evitar que essas previsões negativas se tornem realidade, é essencial que pesquisas sejam desenvolvidas no sentido de adaptar culturas agrícolas e florestais às mudanças climáticas. Esses estudos envolvem múltiplos níveis de organização biológica, como os processos moleculares, bioquímicos e fisiológicos que determinam as respostas em uma cadeia que vai de indivíduos até ecossistemas globais. É necessário, ainda, incorporar ciências genômicas aos estudos agronômicos.

Até agora, alguns avanços importantes nesse sentido foram obtidos em pesquisas sobre o cultivo de soja e feijão. Se o mesmo for feito para outras culturas, será possível ampliar a produção agrícola brasileira e reduzir a pressão sobre a falta de alimentos no futuro. Este livro aborda em detalhes os desafios enfrentados pelas ciências agrárias no **Capítulo 6**.

---

# IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA SAÚDE HUMANA

Talvez não seja óbvio para um olhar não especializado, mas as mudanças climáticas estão afetando a saúde da população de várias maneiras. Dois exemplos ilustrativos: primeiro, alterações no clima causam alterações na dinâmica dos vetores de doenças, aumentando a incidência de doenças infecciosas como dengue, malária e outras; segundo, o aumento dos extremos de temperatura aumenta também a ocorrência de desidratação, infartos e derrames associados ao aumento do estresse ambiental.

As consequências do aumento das temperaturas médias para a saúde pública não são fáceis de estimar. Porém, sabe-se que há grupos mais sensíveis ao clima mais quente, à estiagem prolongada e às enchentes, em especial os idosos (um grupo em crescimento no país), crianças menores de cinco anos, gestantes e pessoas portadoras de múltiplos fatores de risco. A má distribuição de água potável e a falta de saneamento básico agravam esses impactos na saúde.<sup>[viii]</sup>

Atualmente, no Brasil, o estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre a saúde é limitado a análises quantitativas e retrospectivas de morbimortalidade. No entanto, estes estudos precisam ser complementados por outros tipos de investigações, por exemplo, aferição de vulnerabilidades, riscos e impactos de eventos extremos, como o estresse térmico e o excesso de chuvas, e pesquisas sobre exposição crônica ao aumento gradativo da temperatura e às secas prolongadas.

Considerando a complexa heterogeneidade das regiões do país, estudar as relações entre mudanças climáticas e saúde é um grande desafio para a comunidade científica brasileira. Há fatores ambientais, econômicos e sociais a se considerar e, portanto, faz-se necessária uma abordagem multidisciplinar, que tenha como prioridades:

1

---

Aperfeiçoar e/ou adaptar metodologias integradas de projeção de impactos das mudanças climáticas sobre a saúde humana, considerando diferentes escalas territoriais (macrorregiões, estados e municípios), biomas e determinantes sociais da saúde;

2

---

Avaliar o risco quali-quantitativo de doenças respiratórias e cardiovasculares causadas por eventos extremos de temperatura, considerando as variações sazonais de temperatura e precipitação e aquelas exacerbadas pelos efeitos sinérgicos da associação da poluição do ar e de fatores meteorológicos;

3

---

Desenvolver estudos descritivos referentes à situação das doenças sensíveis ao clima para caracterizar o cenário *baseline* das diferentes regiões brasileiras;

4

---

Estimar e projetar futuros impactos no setor saúde para as cidades e regiões brasileiras, tomando por base um aquecimento médio acima de 3°C e considerando impactos diretos (estresse por calor, mortalidade por eventos extremos) e indiretos (mortalidade e morbidade por causas específicas e distribuição de doenças transmitidas pela água, como a diarreia infantil, e por vetores, como leishmaniose, dengue, chikungunya e malária);

5

---

Aferir a tolerância fisiológica do corpo humano em condições térmicas extremas de calor e frio, especialmente para grupos vulneráveis de idosos e pessoas portadoras de múltiplos fatores de risco;

6

---

Medir a perda de produtividade do trabalhador rural em relação à exposição a eventos extremos de temperatura;

7

---

Avaliar a relação exposição-resposta e estabelecer limiares de temperatura ou limites de “tolerância” ou adaptabilidade do corpo humano em condições térmicas extremas, considerando as vulnerabilidades social e ambiental e a suscetibilidade biológica dos indivíduos para as diferentes regiões brasileiras;

8

---

Desenvolver estudos para adaptabilidade ao aquecimento derivado das mudanças climáticas;

9

---

Estruturar um sistema de alertas sobre eventos climáticos e impactos à saúde, definindo ações proativas e preventivas que possam subsidiar os tomadores de decisões de forma antecipada, informar a sociedade e apresentar evidências para a fundamentação de políticas públicas.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (Eds.). **Base científica das mudanças climáticas**: Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 2014. 464 p.

ASSAD, E.D.; MAGALHÃES, A. R. (Eds.). **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**: Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 2014. 414 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014**: Synthesis report. Geneva: IPCC, 2014. 169 p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2018.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Environment Outlook 5**: Environment for the future we want. Valetta: Unep, 2012. 551 p. Disponível em: <[http://web.unep.org/geo/sites/unep.org/geo/files/documents/geo5\\_report\\_full\\_en\\_0.pdf](http://web.unep.org/geo/sites/unep.org/geo/files/documents/geo5_report_full_en_0.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2018.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] STOCKER, T.F. et al (Eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge e New York: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
- [ii] MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (Brasil). **Plano ABC: Agricultura de Baixa Emissão de Carbono**. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>. Acesso em: 05 maio 2018.
- [iii] EARTH SYSTEM RESEARCH LABORATORY GLOBAL MONITORING DIVISION (USA). U.S. Department of Commerce. **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. Disponível em: <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.
- [iv] AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. (Eds.). **Base científica das mudanças climáticas**: Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE/ UFRJ, 2014. 464 p.
- [v] DAVIDSON, E. A. et al. The Amazon basin in transition. *Nature*, [s.l.], v. 481, n. 7381, p.321-328, jan. 2012. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nature10717>>.
- [vi] ARTAXO, P.; NAGY, L.; LAZLO, B. F. (Eds.). **Interactions Between Biosphere, Atmosphere and Human Land Use in the Amazon Basin**. Berlin-Heidelberg: Springer, 2016.
- [vii] TEIXEIRA, B. S.; MARENGO, J. A.; CRUZ, M. R. (Eds.). **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. 389 p.
- [viii] HACON, S. et al. Vulnerabilidade, riscos e impactos das mudanças climáticas sobre a saúde no Brasil. In: TEIXEIRA, B. S.; MARENGO, J. A.; CRUZ, M. R. (Eds.). **Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016. p. 387-459.



---

# 8

## CIDADES SUSTENTÁVEIS E INTELIGENTES

---

CONCEITOS PARA CONTRIBUIR COM A  
TRANSFORMAÇÃO DAS ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS

Cidades engolem territórios, consomem recursos, emitem poluentes. Mas não precisam ser vistas, *a priori*, como problemas: ao contrário, podem ser, de fato, saídas engenhosas para acomodar populações cada vez maiores. Nesse contexto, cidades são parte da solução para o problema da crescente presença humana na Terra, pois ajudam a reduzir o impacto desse aumento populacional, se comparadas às formas alternativas de ocupação, como a suburbana ou a rural. O mesmo se pode dizer sob os pontos de vista social, político e econômico – cidades foram sempre o lócus da sociabilidade mais intensa, das relações políticas horizontais e democráticas e da inovação e da produção econômicas.

No entanto, para materializar e amplificar os potenciais benefícios da ocupação urbana, as cidades precisam gerir seus impactos e recursos de forma inteligente. Em outras palavras, precisam garantir sustentabilidade econômica, social e ambiental que perdure no tempo, além de disponibilizar tecnologias aplicadas ao bem-estar da população, de modo a favorecer os indivíduos, a economia, a mobilidade, o meio ambiente, a governança, a qualidade de vida e a inclusão social.

## O QUE É UMA CIDADE INTELIGENTE?

Embora existam muitas definições possíveis para este termo, aqui se considera cidade inteligente aquela na qual se observa o uso de tecnologias de informação e comunicação (TICs) para prover uma melhoria da qualidade de vida dos seus cidadãos, a um custo acessível e otimizando o uso dos recursos do planeta.<sup>[i]</sup> Nesse contexto, a tecnologia deve ser entendida não como um fim,<sup>[ii]</sup> mas como um meio para permitir que um objetivo maior seja alcançado – incluir os cidadãos como cocriadores dos mecanismos para melhoria da qualidade de vida naquela comunidade.



### CIDADES INTELIGENTES 1.0

Empresas detentoras de tecnologia oferecem produtos ao governo, como acontece em várias cidades africanas.

### CIDADES INTELIGENTES 2.0

Governos, em nome dos cidadãos, decidem em que produtos e serviços devem investir para resolver problemas existentes. Exemplo concreto: Centro de Comando e Controle do Rio de Janeiro. Embora de excelente qualidade, foi pensado exclusivamente pelo governo, sem participação dos cidadãos no processo de criação.

### CIDADES INTELIGENTES 3.0

TICs permitem ultrapassar limites geográficos e possibilitam a governança participativa. Os usuários deixam de ser usuários ou beneficiários e passam a ser cocriadores. Diversas cidades europeias estão desenvolvendo projetos, com a implantação de laboratórios vivos (*living labs*) seguindo esse conceito. Alguns exemplos são Ghent (Bélgica), Manchester (Reino Unido) e Copenhague (Dinamarca).

O estabelecimento de “cidades e comunidades sustentáveis” é um dos 17 grandes objetivos propostos na agenda de desenvolvimento sustentável definida pela Organização das Nações Unidas (ONU) para 2030 e, se alcançado, auxiliará o cumprimento de vários outros objetivos estabelecidos pela ONU nas áreas de saúde, educação, saneamento, preservação dos recursos e inclusão.

A preocupação em adequar as cidades brasileiras a esses critérios de qualidade deve levar em consideração os fatores essenciais para o pleno exercício da cidadania, incluindo, por exemplo, a prática de uma governança participativa; o acesso facilitado à educação para todos; o bom atendimento em saúde, com custos acessíveis; a possibilidade de vida independente para todos, em particular, para os idosos e portadores de necessidades especiais; a facilidade na execução das tarefas diárias e civis; o acesso à água potável e ao saneamento básico; o controle da poluição do ar; a segurança individual e da comunidade; o aperfeiçoamento de mecanismos de economia colaborativa; e a prudência e a eficácia no uso dos recursos da natureza.

Essa agenda requer, obrigatoriamente, uma série de diálogos multidisciplinares construídos a partir de diferentes áreas do conhecimento e paradigmas envolvidos com os temas e fenômenos urbanos. Por isso, cria desafios próprios do encontro entre disciplinas, em que coexistem diferentes modelos de produção do conhecimento em termos de métodos, mas também em termos do que significa compreender e explicar fenômenos.

Uma dimensão transversal importante nos diversos temas de pesquisa envolve comparações, para além das óbvias e centrais especificidades históricas, geográficas, sociais e políticas. A incorporação de um olhar comparativo entre cidades brasileiras e do estrangeiro, incluindo cidades do Sul e do Norte globais, é fundamental para a geração de conhecimento sobre os fenômenos das cidades.

A seguir, a ABC propõe um escopo básico para uma agenda de pesquisa relativa à questão urbana no Brasil contemporâneo. Esta agenda persegue dois objetivos inter-relacionados: em primeiro lugar, a busca de melhor entendimento (no sentido da pesquisa básica e do desenvolvimento tecnológico) sobre os processos físicos, sociais, econômicos e culturais que caracterizam e envolvem as cidades; em segundo, e de forma articulada, a proposição de ações e ofertas de novos serviços, tanto pelo setor público quanto pelo setor privado e também pelo terceiro setor, permitindo a construção de cidades mais justas, equitativas, civis, sustentáveis, eficientes, inteligentes e, por que não dizer, sábias.

# CONTRIBUIÇÃO DAS CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS

A produção do espaço nas cidades é tema recorrente de reflexões acadêmicas desde os anos 1970 e inclui aspectos como a estrutura urbana, a formação de periferias e, mais recentemente, a autosegregação residencial dos grupos mais ricos em busca de segurança e status. Embora, nessa área, haja muitos estudos de abordagem qualitativa, são raros aqueles que tentam criar indicadores para caracterizar as diferentes estruturas urbanas e graus de segregação e, por isso, é difícil fazer comparações, do ponto de vista geográfico ou temporal, entre seus resultados. É necessário, portanto, avançar na proposição de indicadores que se prestem a essas análises, inclusive para possibilitar o estudo das crescentes massas de dados que se pode obter hoje, facilmente e com alta resolução. Esses avanços são um passo importante na compreensão de novas relações espaço-temporais, que privilegiem a conectividade e não apenas a proximidade física, e considerem tanto espaços residenciais quanto os das demais atividades cotidianas.

Além da observação de padrões estáticos, é relevante investir no desenvolvimento de representações que permitam explorar processos inerentes às dinâmicas urbanas e viabilizem a observação de suas trajetórias em diferentes escalas espaciais e temporais. Nesse sentido, é promissora a construção de modelos de análise e simulação computacional, que podem estar associados a diversos métodos e metodologias quantitativos e qualitativos, tais como análise de rede, indicadores, modelos estatísticos, entrevistas e etnografia.

Essas técnicas permitirão conhecer melhor as transformações recentes por que passaram as cidades brasileiras – até agora, a literatura existente explica os processos ocorridos até os anos 1980 e 1990, mas não aborda o que aconteceu depois desse período. Entre os fenômenos a serem estudados em profundidade estão os processos de valorização de certas áreas de uma cidade, os padrões de microsegregação e condomínios fechados e a mistura de favelas e bairros, cada vez mais importante nas periferias.



Existe, ainda, uma lacuna de investigação sobre o papel do mercado imobiliário formal e semiformal (como em favelas consolidadas) e das regulações estatais na produção de espaços urbanos. Sabe-se pouco, por exemplo, sobre o efeito concreto de políticas habitacionais, de infraestrutura e de uso do solo que promovam mistura social, bem como sobre as consequências da incorporação de atores privados e associativos nesses arranjos. O estudo de todos os atores envolvidos e de suas estratégias e conexões com as políticas é fundamental para a compreensão dos processos que constroem as cidades.

Outros objetos importantes de pesquisa são a desigualdade de acesso a serviços e oportunidades e os efeitos da segregação sobre a pobreza e sobre o funcionamento das cidades, em questões como a mobilidade urbana e a qualidade dos serviços oferecidos a diferentes segmentos da população. Um aspecto particularmente relevante é a segregação cultural causada pela incapacidade de interagir com as tecnologias de informação e comunicação, problema que, em certas ocasiões, impede a participação social de grupos da terceira idade, por exemplo.

A agenda de pesquisa relativa à pobreza e às desigualdades será explorada em detalhes no próximo capítulo deste livro, mas cabe destacar aqui suas relações com a questão urbana. A literatura recente já explorou características, variabilidade e distribuição espacial da pobreza, em especial no que diz respeito a dimensões econômicas. Porém, falta ainda uma compreensão mais profunda dos processos associados à reprodução da pobreza e das desigualdades, para além dos elementos associados a comportamentos e atributos dos indivíduos. Estudos sistemáticos sobre o lugar da sociabilidade na vizinhança, as diferentes formas de arranjos familiares, o papel de organizações de diversos tipos e o impacto de políticas públicas, além das dimensões espaciais e culturais da desigualdade, poderiam ajudar a esclarecer a pobreza de forma muito mais completa.

## TRANSPARÊNCIA, UM PRÉ-REQUISITO PARA CIDADES INTELIGENTES

Apesar de avanços recentes, o Brasil ainda tem grandes desafios em relação à transparência pública. Esse é um problema que precisa de soluções. No conceito de cidades sustentáveis e inteligentes, a cidade deve disponibilizar de maneira fácil para os cidadãos o máximo possível de informação, em especial os aspectos financeiros da gestão pública. Numa condição de maior maturidade, o município pode oferecer aos cidadãos os dados abertos, ou seja, dados que podem ser utilizados livremente para o desenvolvimento de soluções que beneficiem a sociedade. No Brasil, o Governo Federal e alguns estados e municípios já possuem suas políticas de dados abertos, porém, ainda há um longo caminho a percorrer até que esta boa prática seja universalizada, em especial para os municípios sem recursos técnicos e financeiros.



O impacto das configurações políticas, envolvendo diferentes atores, sobre as cidades é outro tema de destaque. Nas últimas décadas, muito se estudou acerca dos efeitos do federalismo sobre diversas dimensões do sistema político brasileiro. De forma similar, desde os anos 1980, acumulou-se conhecimento substantivo sobre mobilizações coletivas ou movimentos sociais urbanos. Avançou-se, também, sobre a compreensão da geografia eleitoral nas cidades e do comportamento político dos eleitores em nível local, embora a mobilização de atores locais nesses processos eleitorais ainda permaneça muito pouco mapeada, e haja lacunas de conhecimento sobre o associativismo local e suas relações com o sistema político em outras escalas. É necessário entender melhor as especificidades que cercam os atores políticos locais – políticos, burocratas, empresas privadas, organizações da sociedade civil – e as relações entre eles e as instituições políticas locais, incluindo partidos.

Há muitas questões em aberto sobre as especificidades da produção de políticas localmente e as relações entre geografia e produção de políticas públicas, para além da genérica importância do espaço na implementação de políticas. As formas pelas quais o espaço é incorporado na formulação de políticas urbanas (e não só na sua implementação) permanecem desconhecidas.

Outra questão relevante é que, recentemente, observou-se o surgimento de novos formatos institucionais de produção de políticas. Alguns deles se baseiam em participações mais amplas do setor privado, por meio de parcerias, concessões, concessões urbanísticas, grandes projetos etc., e também do cada vez mais heterogêneo terceiro setor – cuja participação está frequentemente baseada em premissas de melhor eficiência, redução de custos e menor corrupção e clientelismo. Entretanto, pouco se estudou acerca das reais consequências e características desses diferentes formatos com relação ao controle social, ao custo, à promoção de inclusão e à equidade dessas políticas e serviços.

O período recente também trouxe diversos novos formatos de participação de organizações da sociedade civil e outros atores locais nos processos políticos. Novas tecnologias podem ajudar a incorporar nas tomadas de decisão volumes muito maiores de informação, disponibilizados para parcelas muito mais amplas da população. Os resultados dessas novas experiências de governo devem ser monitorados e estudados. O desenvolvimento de tais estudos e a disseminação dos resultados podem estimular a implantação de novas experiências, em especial em municípios de menor porte e menor capacidade técnica e gerencial.

As relações entre os atores não estatais envolvidos em tais iniciativas (privados, da sociedade civil e associativos) e o próprio Estado (políticos, agências e burocratas) são também um objeto de estudo a ser explorado. O judiciário e o Ministério Público locais também têm apresentado cada vez mais protagonismo, mas praticamente inexistem estudos a seu respeito. Embora sejam temas fundamentais, ainda permanecem pouco analisadas as condições que incentivam inovações políticas em governos locais.

Vale ressaltar, ainda, que há poucos estudos sobre as finanças locais e a forma como se estruturam os orçamentos e a tributação, embora sejam temas essenciais para entender a equidade e os conflitos distributivos nas cidades. O desenvolvimento de pesquisas sobre finanças, gasto e arrecadação municipais com foco mais amplo do que as técnicas tributárias é essencial para a construção de cidades equitativas e sustentáveis.

# MEIO AMBIENTE URBANO

O planejamento de cidades inteligentes inclui, também, a reflexão sobre os muitos temas ambientais que se apresentam sob o guarda-chuva da sustentabilidade. Os riscos ambientais estão entre os mais óbvios, em especial no que diz respeito às dinâmicas de ocupação e valorização do solo em áreas de expansão urbana, que terminam empurrando grupos de menor renda para áreas mais frágeis.

Estudos recentes também têm abordado o conceito de resiliência ou desempenho ambiental, com foco nas dinâmicas distributivas populacionais, nas condições dos sistemas ambientais urbanos e nas funções ecológicas úteis a cidades, que usufruem direta e indiretamente de serviços ambientais. Há claras evidências dos impactos da urbanização sobre a dinâmica de fluxos de matéria e energia que constrói e modela a paisagem e da fragilização crescente dos ecossistemas e da biodiversidade frente à ação e à expansão imobiliária, aumentando a vulnerabilidade do próprio ambiente construído.

Esses impactos se manifestam nos sistemas hídricos e no solo, na possibilidade de elevação da temperatura local, na dinâmica de massas de ar e na dinâmica pluviométrica, incluindo riscos de aumento das chuvas (e eventos chuvosos de grandes magnitudes) no decorrer do tempo e da ocorrência de enchentes também em solo urbano.

Novas pesquisas deverão estimar com precisão as relações entre crescimento urbano, diferentes padrões de urbanização e problemas como a queda na biodiversidade e alterações nas funções ambientais fundamentais, como a regulação de elementos climáticos. São necessários indicadores socioambientais precisos para o monitoramento de situações de vulnerabilidade, a começar pelo mapeamento rigoroso da retração do tecido ecossistêmico em função da expansão de formas de ocupação urbana e da fragmentação da paisagem por conexões viárias entre cidades.

Outra questão importantíssima são os efeitos nocivos da poluição do ar associados à vida urbana, sobretudo as interferências das principais fontes emissoras de partículas na construção civil, a queima de combustíveis fósseis pela indústria e as emissões de veículos automotores. Ainda são necessárias avaliações mais precisas sobre a alteração do ciclo de transformações químicas de poluentes atmosféricos, que serão possibilitadas com os avanços tecnológicos mais recentes. São necessários também estudos sobre os impactos de fatores comportamentais humanos sobre a concentração de poluentes como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e micropartículas inaláveis.

# CIDADE E SAÚDE

Os efeitos dos poluentes e outras características urbanas sobre a saúde também precisam ser melhor compreendidos, numa realidade em que os padrões imobiliários recentes vêm moldando a cidade brasileira sob a forma de condomínios horizontais e verticais, o que reforça um estilo de vida dependente do automóvel. Os impactos à saúde são muitos, incluindo doenças respiratórias causadas pela poluição do ar decorrente da queima de combustível.

O problema da obesidade crônica também é, em parte, creditado à falta de atividades físicas associada a padrões de urbanização rarefeitos e fragmentados. Esses fatores são exacerbados por outras externalidades negativas desses padrões, como aumento nas distâncias internas na cidade, fragilidade das redes de acessibilidade e sistemas desintegrados de transporte, crescentes congestionamentos, tempo e custos de transporte, e decorrente queda de mobilidade e qualidade de vida para trabalhadores e de produtividade de empresas. Outros impactos sobre o comportamento envolvem a capacidade de apropriação da cidade, o incentivo a trajetos a pé e ao uso do espaço público, estendendo-se até questões de vitalidade urbana e urbanidade.



# PENSAR PARA CRESCER

Com cidades cada vez maiores, está na hora de o Brasil repensar questões como planejamento urbano e mobilidade. Os modelos de cidade mais comuns hoje, em que áreas de trabalho, lazer e moradia estão distantes entre si – algo que ocorre, por exemplo, em Brasília, cidade totalmente planejada – já não parecem ser os mais adequados para as dimensões atuais das cidades e de suas populações. O tamanho de cidades como São Paulo torna o deslocamento entre bairros distantes um problema sério em termos de tempo, poluição e consumo de recursos.

É necessário, portanto, estudar, discutir, planejar e implantar as cidades do futuro. Essa é uma preocupação mundial, que vem tomando forma sob o conceito de cidades mais humanas, inteligentes e sustentáveis (CHIS). Sua premissa é que a integração de serviços, diversão e habitação, com o apoio da tecnologia, permite uma melhoria significativa da qualidade de vida dos cidadãos.

A primeira característica marcante das CHIS é o planejamento urbano que privilegia o morar, trabalhar e se divertir no mesmo lugar. Assim como em bairros de Paris ou bairros brasileiros como Itaim Bibi em São Paulo, esta integração multidimensional urbana pode provocar uma mudança substancial nas cidades. Nesses bairros, e na cidade como um todo, deve-se favorecer o pedestre (calçadas largas, como em Barcelona), a bicicleta (ciclovias segregadas do trânsito de veículos, como em diversas cidades), o transporte público, em detrimento do deslocamento particular com o carro próprio (como em Nova Iorque ou Cingapura) e a possibilidade de viver em sua pequena nova aldeia tecnológica.

A segunda característica das CHIS é o foco nos cidadãos. Um centro integrado de controle ajuda, mas ele deve ser projetado à luz de alguma necessidade real da população, não como uma curiosidade tecnológica. E o sucesso das iniciativas deve ser medido sob a ótica do seu impacto sobre as pessoas, e não sob a ótica, por exemplo, da disponibilidade de tecnologia. Em outras palavras, em vez de medir o número de câmeras no centro da cidade, deve-se medir a efetiva segurança do cidadão que por ali transita.

---

# O CAMINHO PARA A TRANSFORMAÇÃO DAS CIDADES

Há uma notória dificuldade da cidade brasileira em gerir seus sistemas. O crescimento urbano vem frequentemente desacompanhado de cuidados na urbanização. Muitas áreas são comercializadas, mas desacompanhadas de redes de infraestrutura, onerando Estado, população e ambiente. Grande parte das cidades no país não possuem cobertura completa de sistemas de esgoto e oferta de água. Baixas densidades também dificultam a eficiência do transporte coletivo, a implantação de transportes de massa como metrô e a implementação de sistemas inteligentes de separação e reúso de águas em escala urbana. O crescimento da urbanização gera ainda grandes pressões nos recursos naturais locais (água, solo, ar).

Existem exemplos de municípios bem estruturados, que possuem instituições consolidadas e melhores condições de gestão – eles são os que possuem os melhores meios para desenvolver seus programas de cidade inteligente, ou seja, realizar projetos que, ao longo do tempo, conduzirão a essa nova realidade. Tais cidades, com conselhos municipais ativos, universidades e capacidade de atrair o interesse de investidores, terão condições de tomar decisões acertadas quanto às tecnologias a serem utilizadas para resolver ou amenizar problemas. É o caso da cidade de Maringá, no Paraná, por exemplo, que possui um conselho de desenvolvimento local composto por representantes das entidades da cidade, universidades e prefeitura. Esse conselho é o curador da estratégia de desenvolvimento econômico e social da cidade e garante que esta seja executada pelos governantes. Sorocaba, São José dos Campos e Florianópolis também se destacam por suas estratégias de longo prazo com foco em ciência e tecnologia.

Porém, para outras cidades, muitas criadas nos últimos 50 anos e insustentáveis sob os mais diversos aspectos, a realidade é bem diferente. Há níveis díspares de maturidade socioeconômica e os mesmos desafios para o desenvolvimento e a entrega de serviços públicos de qualidade. Mais de 4 mil municípios brasileiros têm menos de 50 mil habitantes e muitos deles estão distantes de grandes centros e têm pouca capacidade de desenvolver ou gerenciar projetos.

A grande maioria dessas cidades está estrangulada pelas obrigações sociais e não possui recursos técnicos e humanos para iniciar e conduzir programas de cidade inteligente e sustentável. Elas dependem, portanto, de recursos externos, que deverão ser oferecidos – de forma não gratuita – pelos governos estaduais e federal, além de instituições e empresas generalizadas. O acesso a esses recursos externos depende, claro, do engajamento dos governantes municipais, da população e das entidades da cidade.

Uma solução interessante para atender municípios em seus programas de cidades inteligentes e sustentáveis é a criação de agências regionais consorciadas, dotadas de corpo técnico composto por profissionais como engenheiros, arquitetos, profissionais de tecnologia da informação, economistas e designers, rigorosamente sem cargos comissionados políticos. Essas agências podem assumir a missão de desenvolver os projetos de parcerias público-privadas (PPPs), capacitar servidores, engajar a sociedade e fiscalizar as PPPs, sempre com o foco nas reais necessidades das cidades e nos padrões técnicos universais. Agências como essas devem ser autônomas e autossustentáveis, com receitas provenientes dos diversos municípios que as apoiam e dos projetos e eventos que realizam.

O objetivo final da busca por cidades inteligentes e sustentáveis deve ser melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, reduzindo o custo de vida e alcançando um ambiente sustentável nas áreas urbanas. A integração de informações oriundas dos serviços atuantes na cidade com novos canais que permitam a participação ativa e direta dos cidadãos na geração de informações sobre seu relacionamento com o ambiente urbano abre novas perspectivas de convívio em aglomerados urbanos. Por um lado, há um potencial de maior participação e envolvimento da população na condução da gestão da cidade. Por outro, há um impacto positivo no conhecimento do dia a dia das cidades e de seus cidadãos pelo governo, permitindo melhor governabilidade e planejamento com foco nas prioridades que impactam mais diretamente o cotidiano dos habitantes de cidades sustentáveis e inteligentes.

## O PAPEL FUNDAMENTAL DAS TECNOLOGIAS

Em sua origem, o conceito de cidades inteligentes está relacionado à possibilidade de, por meio de desenvolvimentos tecnológicos recentes, em especial na área de processamento de informação e comunicação, melhorar a qualidade de vida dos habitantes. Esses desenvolvimentos são muitos, incluindo, por exemplo, sensores e atuadores conectados em redes, computação na nuvem, processamento e análise grandes quantidades de dados e internet tátil – uma tecnologia que dependerá de técnicas de comunicação sem fio ainda mais eficientes que as atuais.

Embora, hoje, a ideia de cidades inteligentes vá muito além das aplicações tecnológicas, estas ainda são fundamentais para resolver questões urbanas básicas, como, por exemplo, a geração e o uso eficiente da energia. Soluções como as malhas inteligentes de energia (*smart grids*) – que, no fundo, representam o uso intensivo das TICs em geração, armazenamento e distribuição de energia – serão fundamentais para que as cidades se tornem realmente sustentáveis.



A agenda de pesquisa relativa a tecnologias será explorada em detalhes mais adiante neste livro. Por hora, destaca-se dois temas fundamentais no contexto da construção de cidades inteligentes e sustentáveis:

**Tecnologia de sensores e conexões em redes:** Conectar todas as coisas, em tempo real, para criar ambientes inteligentes. O que, pouco tempo atrás, parecia ficção científica já começa a se tornar realidade, graças ao avanço da microeletrônica e das TICs, que possibilitam dotar diferentes dispositivos do cotidiano com capacidade de computação e comunicação. Nesse contexto, a internet tem o papel fundamental de difusão e compartilhamento de informação. A expressão Internet das Coisas se refere não apenas à interconexão desses dispositivos, mas também às tecnologias de sensoriamento, identificação e comunicação envolvidas e ao conjunto de aplicações e serviços decorrentes da adoção de tecnologias relacionadas. Sua aplicação envolve desafios como a interpretação, em diferentes escalas, do imenso volume de dados gerado por tais dispositivos e a garantia de segurança dos aparelhos e privacidade dos dados adquiridos. Finalmente, outro desafio importante é manter uma visão inclusiva das cidades frente aos custos dessas novas tecnologias, de modo que parcelas mais pobres da população não permaneçam à margem do processo.

**Agregação e análise de dados:** Um aspecto fundamental para a realização de cidades sustentáveis e inteligentes é a capacidade de agregação e análise de grandes volumes de dados oriundos de diversas fontes heterogêneas. Áreas como saúde, trânsito, iluminação, monitoramento ambiental, abastecimento de água e gás, fornecimento de energia, educação, transporte, comunicação, atendimento de emergência e segurança pública podem se beneficiar da análise eficiente de dados gerados por redes sociais e outros ambientes tecnológicos. A análise comportamental da população – garantindo o anonimato, com segurança e privacidade preservadas – e de sua relação com serviços da cidade abre novas perspectivas de desenvolvimento de serviços e aplicações centrados no cidadão integrante das cidades, bem como um melhor entendimento sobre a dinâmica da própria cidade. É, portanto, um grande desafio a agregação e a análise de dados de fontes heterogêneas para a extração de conhecimento relevante sobre uma cidade e a sociedade que nela habita.



A mobilidade urbana é outro problema para o qual busca-se soluções baseadas em tecnologia, em especial por meio do desenvolvimento de veículos terrestres e aéreos autônomos, movidos a energia elétrica. Espera-se que soluções de trânsito empregando essas novas tecnologias venham a resolver os atuais congestionamentos em megacidades, ou mesmo em cidades de porte médio, e também reduzir o problema de poluição prevalente nesses ambientes. Outras tecnologias relacionadas à economia dos recursos naturais e à preservação do meio ambiente serão críticas na melhoria da sustentabilidade e da resiliência de regiões urbanas, incluindo, por exemplo, técnicas para reuso de água, abordagem integrada e sistêmica de qualidade da água e saneamento.

Finalmente, é necessário enfatizar que os cidadãos precisam confiar nos serviços derivados desses avanços tecnológicos para adotá-los. Portanto, uma das áreas mais críticas para que o uso de tecnologias de informação se torne propulsor das cidades inteligentes do futuro é a de segurança cibernética. Sem ela, novos serviços estarão fadados ao insucesso.

## DESVENDAR AS COMPLEXIDADES DAS CIDADES

Problemas complexos requerem soluções integradas, provenientes do conhecimento de diferentes áreas da ciência. Unir esforços para a criação de cidades inteligentes é, portanto, mesclar atores, competências, estratégias e modos de intervenção para alcançar um objetivo comum. Nesse sentido, a ABC recomenda como prioridades de pesquisa para possibilitar a implantação de cidades inteligentes e sustentáveis:

# 1

---

Realizar estudos quantitativos e qualitativos para analisar as características e os impactos dos padrões de sociabilidade urbana, suas variações por grupo social, relações com a segregação urbana, com as políticas públicas e a forma urbana, bem como o impacto das novas tecnologias sobre essas questões;

# 2

---

Compreender melhor os atores, estatais e não estatais, e os processos, formais e informais, de governança das cidades, assim como padrões participativos, transparentes e intersetoriais que podem ser obtidos com o uso das TICs, além de estudar suas consequências nas políticas públicas e na vida urbanas;

# 3

---

Analisar os desafios técnico-ambientais das cidades, incluindo redes de infraestrutura mais baratas e de fácil implantação, além de processamento de resíduos sólidos mais eficiente, inclusive com geração de energia etc.;

# 4

---

Ponderar os fatores que influenciam o acesso ainda desigual da população à água de qualidade, incluindo a relação entre a provisão de redes de abastecimento e a estrutura das cidades, em especial em áreas de precariedade urbana. Além disso, deve-se avaliar os elementos associados ao uso sustentável dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, principalmente considerando a necessidade de coexistência de outros usos, como os industriais extrativistas e o agronegócio;

# 5

---

Avaliar possibilidades de redução das perdas na rede de distribuição de água das grandes cidades e reuso dos efluentes tratados. Vale dizer que a expansão de redes de esgotamento sanitário com disposição final adequada tem se revelado o maior desafio da área de saneamento básico no Brasil, por razões técnicas, operacionais, financeiras e políticas;

# 6

---

Criar soluções para a gestão de grandes quantidades de resíduos, incluindo poluentes químicos, antibióticos, hormônios e outros, e rejeitos gerados nos centros urbanos, minimizando seus impactos sobre os recursos hídricos, o solo e o ar;

# 7

---

Aprofundar a compreensão das relações entre formas espaciais e a vida urbana e gerar condições para integração social e uma nova economia, mais criativa, da informação, a partir de centros e bairros com características capazes de estimular proximidade, sociabilidade, serendipidade e efeitos positivos entre grupos sociais e setores de atividade;

# 8

---

Considerando transformações recentes promovidas pelas novas tecnologias, realizar estudos sobre a coexistência entre morar, trabalhar e divertir-se, sobre transportes alternativos e compartilhados e sobre o trabalho nômade e móvel;

# 9

---

Desenvolver técnicas e treinamento para que a população, mesmo aquela com menor nível de instrução e poder aquisitivo, possa se beneficiar dos novos serviços e produtos que farão parte de uma cidade do futuro, com uso intenso das TICs;

# 10

---

Desenvolver novos modelos de negócio e novas cadeias de valores que permitam a coparticipação dos cidadãos e a criação de empresas locais para oferta de serviços e produtos em áreas como, por exemplo, transporte urbano inteligente e saúde e bem-estar;

# 11

---

Desenvolver técnicas para conectar produtos e serviços, empregando soluções cognitivas e de aprendizado de máquina sobre grandes volumes de dados diversos oriundos de fontes heterogêneas, de modo a aprimorar a qualidade dos serviços;

# 12


---

Estabelecer métricas para avaliar o progresso das cidades no caminho para se tornarem mais sustentáveis e inteligentes.



# POLÍTICAS PÚBLICAS

As pesquisas que a comunidade científica brasileira pode realizar sobre o tema das cidades sustentáveis e inteligentes têm como objetivo final subsidiar um plano de ação para sua efetiva implementação no Brasil. Para que ele se realize concretamente, no entanto, será necessário estabelecer políticas públicas que integrem iniciativas de incentivo ao planejamento e de melhoria urbana, por meio de programas com abrangência interministerial e com cooperação em diferentes níveis de governo (federal, estadual e municipal). A seguir, recomendações de políticas públicas que podem ajudar nesse processo:



1. Criar um programa para coordenação, incentivo e apoio ao desenvolvimento e à experimentação de novos modelos de uso de tecnologia para melhorar a qualidade de vida da população em cidades e distritos urbanos – submissões a este programa devem, necessariamente, conter metas objetivamente mensuráveis, e o processo de avaliação dos resultados precisa ser explicitado nos editais;

2. Criar um programa envolvendo múltiplas agências e ministérios para revitalização de comunidades e distritos de baixa renda usando inovação tecnológica, de forma integrada aos programas e políticas de recuperação de áreas degradadas;

3. Implementar um sistema nacional de políticas urbanas, que reúna de forma articulada as políticas federais de planejamento, habitação, mobilidade, infraestrutura e saneamento, carreando fundos compatíveis para gerar incentivos aos governos locais e viabilizar financeiramente ações de desenvolvimento de capacidades locais e de implementação das políticas buscando redução das desigualdades, universalização de serviços e melhora da sua qualidade, além de eficiência e sustentabilidade;

4. Por meio de políticas e instrumentos federais, criar incentivos e apoiar financeiramente iniciativas que promovam participação social, planejamento local, usos mistos dos espaços públicos, transporte público e caminhabilidade;

5. Exigir que os governos locais incentivados e financiados contem com formas abertas e públicas de participação envolvendo os mais variados atores em todas as fases da produção das políticas, desde a definição de alternativas, até a sua implementação no território.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

AHLGREN, B.; HIDEELL, M.; NGAI, E. C.. Internet of Things for Smart Cities: Interoperability and Open Data. **IEEE Internet Computing**, [s.l.], v. 20, n. 6, p.52-56, nov. 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).  
<<http://dx.doi.org/10.1109/mic.2016.124>>.

BERGH, J. D.; VIAENE, S.. Key Challenges for the Smart City: Turning Ambition into Reality. **48th Hawaii International Conference On System Sciences**, [s.l.], p.2385-2394, jan. 2015. IEEE. <<http://dx.doi.org/10.1109/hicss.2015.642>>.

BETTENCOURT, L. M. A.. The Origins of Scaling in Cities. **Science**, [s.l.], v. 340, n. 6139, p.1438-1441, 20 jun. 2013. American Association for the Advancement of Science (AAAS).  
<<http://dx.doi.org/10.1126/science.1235823>>.

MONTEZUMA, R.. Impactos da produção da forma urbana sobre o ambiente. In: NETTO, V. M. et al (Org.). **Efeitos da Arquitetura: Os Impactos da Urbanização Contemporânea no Brasil**. Brasília: Frbh Edições, 2017. p. 9-24.

OLIVEIRA, A.; CAMPOLARGO, M.. From Smart Cities to Human Smart Cities. **48th Hawaii International Conference On System Sciences**, [s.l.], p.2236-2344, jan. 2015. IEEE.  
<<http://dx.doi.org/10.1109/hicss.2015.281>>.

SETO, K. C.; GUNERALP, B.; HUTYRA, L. R.. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [s.l.], v. 109, n. 40, p.16083-16088, 17 set. 2012. Proceedings of the National Academy of Sciences.  
<<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1211658109>>.

(USA). PCAST CITIES WORKING GROUP. **Report to the President: Technology and the Future of Cities**. Washington, D.C.: Executive Office Of The President, 2016. 99 p.

Disponível em:

<[https://www.whitehouse.gov/sites/whitehouse.gov/files/images/Blog/PCAST\\_CitiesReport\\_FINAL.pdf](https://www.whitehouse.gov/sites/whitehouse.gov/files/images/Blog/PCAST_CitiesReport_FINAL.pdf). Acesso em: 16 mar. 2018>.

VATSIKAS, S. et al. The Experience of Using the IES Cities Citizen-Centric IoT Platform. **IEEE Communications Magazine**, [s.l.], v. 55, n. 2, p.40-47, fev. 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).  
<<http://dx.doi.org/10.1109/mcom.2017.1600688cm>>.

---

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] PÉREZ-MARTÍNEZ, P. A.; MARTÍNEZ-BALLESTÉ, A.; SOLANAS, A.. Privacy in Smart Cities: A Case Study of Smart Public Parking. In: **Proceedings of the 3 rd Int'l Conf. Pervasive Embedded Computing and Commun. Sys**, 2013, Barcelona. p. 55 - 59.
- [ii] MOREIRA DA COSTA, E.; OLIVEIRA, A. Humane Smart Cities. In: FRODEMAN, R.; KLEIN, J. T.; MITCHAM, C. **The Oxford Book on Interdisciplinarity**. Oxford: Oxford University Press, 2017. p. 228-240.





---

# 9

## CIÊNCIA CONTRA A POBREZA

---

CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMULAÇÃO DE  
POLÍTICAS SOCIAIS EFICAZES NA ERRADICAÇÃO  
DA POBREZA E NA REDUÇÃO DA DESIGUALDADE

É difícil alguém discordar da necessidade de construir um Brasil mais próspero e menos desigual. Por outro lado, existe também uma crença amplamente difundida de que, para isso, bastam o bom senso e a experiência dos formuladores de políticas públicas – uma falácia que, além de frustrar expectativas, pode acarretar custos sociais, econômicos e políticos de graves consequências. Evidências científicas são recursos cruciais para assegurar a eficiência e a eficácia das políticas públicas – essa é a motivação deste capítulo.



Historicamente, o Brasil é um dos países com maior nível de desigualdade econômica no mundo, com índices de pobreza muito acima do esperado para seu volume de riqueza. Trocando em miúdos, a pobreza, no Brasil, se deve muito mais à má distribuição dos recursos existentes do que propriamente à escassez de recursos. Desde os anos 2000, o país vem conseguindo frear essa tendência – entre 2000 e 2014, a extrema pobreza declinou continuamente, alcançando um patamar próximo de um quarto do nível registrado na virada do milênio.<sup>[i, ii]</sup>

---

Com essa virada, o Brasil atingiu um feito notável: alcançou, cerca de quatro vezes mais rápido do que o esperado, o 1º Objetivo de Desenvolvimento do Milênio<sup>[1]</sup> fixado pela Organização das Nações Unidas no ano 2000, reduzir a extrema pobreza à metade num prazo de 25 anos. A redução da pobreza contribuiu, também, para diminuir os índices de desigualdade.

Ainda assim, os avanços alcançados não foram suficientes para que o Brasil figurasse entre os países de perfil mais justo. A desigualdade e a pobreza continuam sendo problemas importantes e que requerem políticas públicas adequadas.

No Brasil, como em outros países, o principal instrumento que possibilitou a redução da pobreza extrema foi o programa de transferência condicional de renda, conhecido primeiro como bolsa-escola e, depois, como bolsa-família. Esse tipo de programa, por ter sido adotado em muitos lugares, já se tornou objeto de ampla literatura especializada e avalia-se que suas principais qualidades são a focalização de recursos na população mais necessitada e o alívio das condições de pobreza extrema.<sup>[iii]</sup>

Para ser implementado no Brasil, o programa bolsa-escola ou bolsa-família contou com a existência de informações estatísticas confiáveis sobre a situação de pobreza e sua distribuição pelo país, além do uso de tecnologias adequadas para eliminar os custos de intermediação política na entrega dos recursos. Os sucessos logrados pelo programa constituem um bom exemplo de como a ciência pode contribuir de forma efetiva para a redução da pobreza e da desigualdade.

Porém, é crucial levar em conta que a redução da pobreza e da desigualdade ocorreu ao mesmo tempo em que, em contraposição às melhores práticas recomendadas pela teoria econômica, aumentavam os desequilíbrios fiscais e o distanciamento entre produtividade e remuneração do trabalho. Esses fatores explicam, em grande parte, a recessão econômica iniciada em 2014, e podem estar levando ao retrocesso de muitos dos ganhos dos anos anteriores. Portanto, a experiência brasileira das décadas recentes ilustra simultaneamente a importância de se contar com o conhecimento científico no desenho de políticas públicas e os riscos de se ignorar esse conhecimento.

# ALGUMAS DEFINIÇÕES PARA COMEÇAR

“Aquilo que não se pode medir não se pode melhorar.” A frase, atribuída ao físico britânico William Thomson (1824-1907), conhecido como Lorde Kelvin, resume de forma clara o que muitos esquecem na hora de avaliar políticas de redução da pobreza ou da desigualdade. O que, exatamente, esperou-se transformar com essas políticas? Quais são os indicadores de seu sucesso ou fracasso?

Para reduzir a pobreza e a desigualdade, é necessário, primeiro, definir o que se entende por cada um desses conceitos e como é possível medir sua presença na sociedade.

Duas maneiras comuns de se medir a pobreza são em termos relativos ou absolutos. O conceito de pobreza relativa é arbitrário e convencional. Ele considera, geralmente, a renda das populações: são definidas como pobres as pessoas que estão, por exemplo, no decil inferior da distribuição de renda de um país. Embora arbitrário, esse conceito se justifica pelo fato de que as pessoas com este nível de renda normalmente apresentam também níveis de educação, saúde, condições habitacionais e outros significativamente piores que os dos demais cidadãos.

Já o conceito de pobreza absoluta foi desenvolvido para a análise da situação das populações mais carentes em economias pobres, como as da África e da América Latina. Esse conceito considera a disponibilidade de recursos para adquirir uma cesta de alimentos equivalente às necessidades calóricas das pessoas – uma medida evidentemente inadequada, pois não inclui outras necessidades essenciais, como transporte, atendimento médico e habitação.

Há ainda um terceiro conceito, que considera a pobreza de forma multidimensional e inclui a possibilidade de as pessoas serem pobres por razões e de modos diferentes. Tipicamente, a pobreza é medida por insuficiência de renda, mas uma pessoa pode ser pobre mesmo não tendo insuficiência de renda – por exemplo, por ter um problema de saúde grave, ou por ter passado por um desastre natural, entre outras razões.

---

No entanto, para estabelecer metas e políticas públicas, pode ser conveniente estabelecer linhas de pobreza. Embora envolvam sempre algum critério arbitrário, elas são passíveis de justificação a partir de um conceito explícito de carência. Por exemplo, o Banco Mundial usa como critério para a pobreza mundial a renda de US\$ 1,90 por dia, que garantiria condições mínimas de subsistência.

O conceito de desigualdade, por outro lado, tem, necessariamente, caráter relacional: pressupõe que, em alguma dimensão, as pessoas ocupam posições sociais distantes umas das outras. A desigualdade é também uma noção relativa, no sentido de que, em uma sociedade, o aumento proporcional, por exemplo, nas rendas de todos não modifica o grau de desigualdade entre os diferentes grupos.

Existem várias maneiras de medir a desigualdade. Uma delas é comparar simplesmente as rendas de pessoas em diferentes níveis da distribuição da riqueza; outra, comparar a distribuição de renda com uma situação de igualdade absoluta.

Cada pessoa, ao longo da vida e dependendo das políticas sociais existentes e da posição socioeconômica de sua família, tem acesso a uma série de oportunidades que, se aproveitadas em sua plenitude, levam a resultados de valor para a pessoa e para a sociedade. Porém, as condições e as políticas sociais com que conta uma pessoa determinam em que medida ela é capaz de aproveitar plenamente uma oportunidade. Assim, a pobreza e a desigualdade precisam ser definidas e medidas tendo em conta diversas dimensões, incluindo as de oportunidades, condições, tratamento e resultados.

Quando as oportunidades são escassas e limitadas a alguns poucos, há pobreza em oportunidades; quando o acesso às oportunidades existentes é desigual e dependente da origem familiar, há desigualdade de oportunidade. Quando as condições para alguns são precárias, há pobreza de condições; quando o tratamento recebido por distintos grupos sociodemográficos é diferenciado, há desigualdade de tratamento. Por fim, quando o resultado que se espera acaba sendo limitado para alguns e desigualmente distribuído entre todos, há pobreza e desigualdade de resultados.



A relevância da pobreza e da desigualdade difere de acordo com o que se está avaliando. Essa relevância é tipicamente maior quanto mais ela resulta de fatores fora do controle da pessoa, como origem familiar e diferentes formas de discriminação. Por isso, a desigualdade de oportunidades e de tratamento deve despertar maior apreensão que a desigualdade de resultados, que é relativamente afetada pelo livre arbítrio individual. Filósofos, economistas e principalmente sociólogos têm buscado aperfeiçoar a conceituação desses diferentes aspectos da pobreza e da desigualdade. A clareza conceitual nessa área tem se mostrado fundamental para o desenho de políticas públicas e para o monitoramento da pobreza e da desigualdade pela sociedade.

É importante observar, ainda, que cada um dos aspectos da pobreza e da desigualdade (oportunidades, condições, tratamento, resultados etc.) é multidimensional, pois resulta em diferenças de renda, condições habitacionais, esperança de vida e outras, gerando uma noção de pobreza e de desigualdade associada a cada uma delas.

Mapear criteriosamente essas dimensões é um dos grandes desafios das ciências sociais, assim como uma das grandes contribuições que ela presta à sociedade. Quando se pretende estabelecer metas quantitativas para o acompanhamento dos resultados de políticas sociais, é necessário, para cada uma das diferentes dimensões, definir a unidade de medida de tal forma que se possa atribuir a cada indivíduo um nível na estrutura de distribuição de determinado aspecto em uma sociedade. Da mesma forma, para podermos mensurar a desigualdade, uma noção de distância específica entre os níveis alcançados pelos indivíduos precisa ser estabelecida.

Como já se falou, pobreza e desigualdade são conceitos complexos e mensurar sua presença na sociedade envolve desafios de múltiplas dimensões. Encontrar a melhor forma de superá-los é uma atividade científica em que economistas e estatísticos têm trabalhado de forma intensa, produzindo medidas de pobreza e desigualdade multidimensionais de grande valor prático para o acompanhamento do avanço de regiões, países e outras unidades de observação no combate à pobreza e à desigualdade nas suas mais variadas formas. O reconhecimento de que a intersecção de diferentes formas de pobreza e desigualdade produz efeitos interativos perversos coloca desafios adicionais para a ciência na busca de subsídios mais precisos, que permitam traçar desenhos de políticas sociais mais eficazes.

---

# CORTANDO O MAL PELA RAIZ

Para combater a pobreza e a desigualdade, além de estabelecer variáveis que possam ser mensuradas – e, portanto, que possibilitem avaliar a eficácia das políticas colocadas em prática –, é fundamental identificar o que determina esses problemas sociais em uma população. A pobreza e a desigualdade podem decorrer de um acesso limitado de alguns grupos a um resultado de valor (renda, por exemplo) ou da falta de acesso desses grupos a um fator que o determina (educação, por exemplo). Nesse segundo caso, algumas pessoas podem ter baixa renda porque têm baixa escolaridade; ou pode prevalecer um alto grau de desigualdade de renda porque persiste um alto grau de desigualdade em educação.

Portanto, para que políticas públicas eficazes possam ser formuladas, é necessário que a ciência trabalhe para lograr três tipos de evidência: (1) identificar os fatores determinantes dos resultados de valor com relação aos quais a pobreza e a desigualdade são definidas; (2) identificar em que medida esses fatores podem ser modificados; e (3) identificar como esses fatores poderiam ser modificados.

É possível classificar os determinantes da pobreza em dois grupos. O primeiro deles é o dos fatores que não deveriam ser determinantes dessas condições sociais, incluindo, por exemplo, características como cor de pele, orientação sexual, origem familiar e outros atributos que escapam ao controle individual. Em uma sociedade justa, nenhum desses fatores deveria levar a diferenças de renda ou de escolaridade. Porém, infelizmente, características assim estão relacionadas a todas as formas de pobreza e desigualdade, sejam elas de oportunidades, de tratamento, de condições ou de resultados.

No segundo grupo de determinantes da pobreza e da desigualdade estão fatores que as políticas públicas podem de fato modificar, seja garantindo a todos um mínimo, seja reduzindo a desigualdade no acesso a eles. Educação e trabalho digno se encaixam nesta categoria, considerando que, em um ambiente meritocrático, o acesso a esses fatores é o que comanda o acesso aos resultados de valor (renda) que se prestam a mensurações da pobreza e da desigualdade.

Formuladores de políticas públicas precisam conhecer bem os determinantes da pobreza e da desigualdade, identificar quais deles têm maior impacto sobre o resultado de interesse e idealizar como a posse ou o acesso a esses fatores podem ser promovidos. Essa demanda por conhecimento estabelece uma ampla agenda científica de enorme relevância social.

Nesse contexto, o conhecimento científico pode ajudar a identificar o que é necessário e como atuar para garantir uma educação de qualidade, bem como o acesso a um trabalho digno e adequado a todos. No caso da educação e do trabalho, não existem fatores justificáveis para diferenças de acesso a esses domínios entre os setores da sociedade. Portanto, as políticas públicas precisam se basear em formas de eliminar a influência desses fatores injustificáveis (cor da pele, gênero etc.) sobre o acesso à educação e ao trabalho.

## O ALVO CERTO

Principalmente no caso da desigualdade de oportunidade e de tratamento, o que se deseja modificar não é o acesso ou o montante de fatores determinantes da pobreza, mas o próprio fato de que esses fatores são determinantes. Assim, se o sistema educacional existente permite que a pobreza de uma família influencie o desempenho escolar de uma criança e, portanto, sua renda e seu grau de pobreza futuro, a recomendação para o desenho de política social eficaz não pode mirar apenas na redução da pobreza das famílias, por mais que essa também seja uma meta intrinsecamente louvável. Para ser coerente, o foco precisa ser o redesenho da política educacional, de forma a assegurar que o desempenho de um aluno não mais dependa de sua origem familiar.



Já outros determinantes da pobreza e da desigualdade, como os relacionados a condições e resultados, são justificáveis e podem ser alvo de políticas públicas específicas para modificá-los. Entre os fatores determinantes justificáveis e que, portanto, merecem interesse científico estão aqueles relacionados às habilidades e competências individuais. Em um ambiente meritocrático, quanto mais amplo o leque de competências de um indivíduo, e quanto melhor a qualidade de cada uma de suas competências, maiores deverão ser suas oportunidades para realizar e alcançar resultados de valor. Nesse ambiente, o objetivo científico é determinar que competências são mais importantes e quais delas podem ser mais facilmente adquiridas ou modificadas e como.

Outros determinantes justificáveis estão relacionados à possibilidade de utilizar as habilidades e competências adquiridas de forma produtiva. Qual a utilidade de um indivíduo adquirir certa competência – formar-se médico, por exemplo – se ele não tem a oportunidade de utilizá-la, ou seja, se ele não encontra um trabalho ou é impedido de trabalhar? A pesquisa científica é vital para determinar quais são as oportunidades necessárias para a utilização produtiva das competências adquiridas e para que essas oportunidades possam ser oferecidas e garantidas.

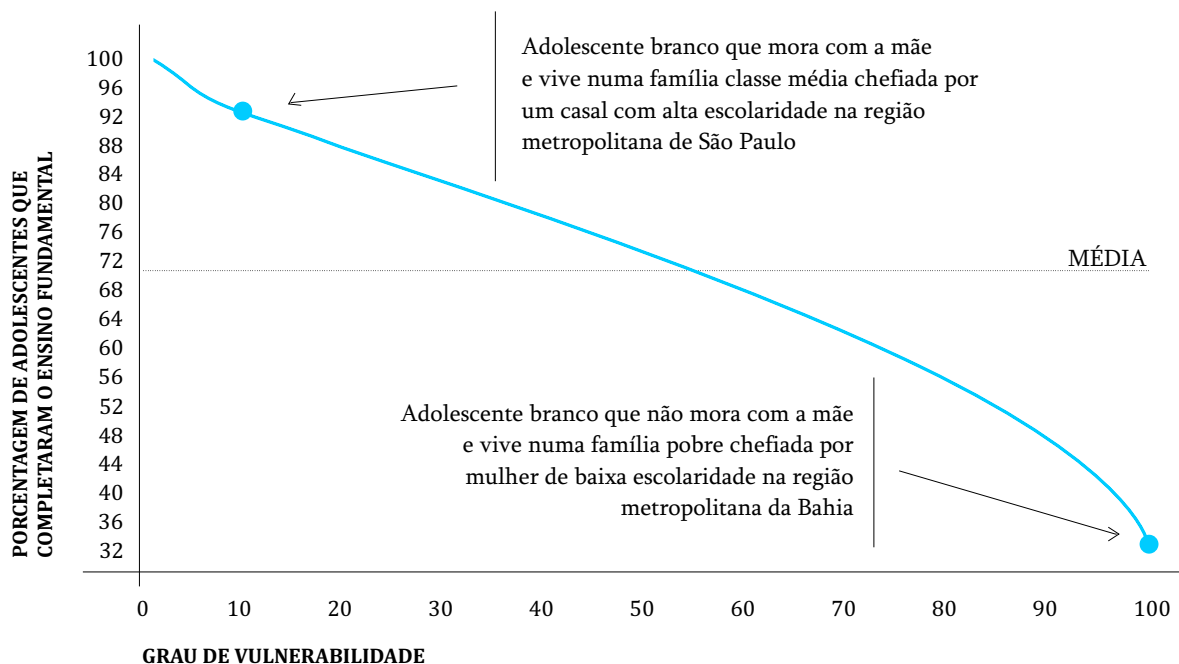
Políticas sociais eficazes requerem ações específicas sobre os diversos aspectos da pobreza, que variam de uma população a outra, e todas elas demandam conhecimentos de base científica para que obtenham os resultados esperados. Do contrário, corre-se o risco de investir em políticas com pouco ou nenhum resultado – um exemplo emblemático é o dos gastos públicos com educação básica no Brasil: entre 2000 e 2014, aumentaram de R\$ 2 mil para R\$ 6 mil anuais por indivíduo, sem que isso se refletisse em melhora dos péssimos índices de desempenho das escolas do país.<sup>[2]</sup> Outros exemplos de fracasso foram observados em políticas de repressão ao uso de drogas e de combate à criminalidade e à violência urbanas.

# AVALIAÇÃO DE DANOS

Embora a erradicação da pobreza e a redução da desigualdade tenham valor intrínseco e, portanto, não requeiram justificativas adicionais, é importante considerar que a pobreza e a desigualdade têm um amplo leque de consequências sociais e econômicas deletérias. Mapear essas consequências também é interesse da ciência, e sua gravidade é um incentivo adicional para a alocação de recursos públicos para programas de redução dessas mazelas.

Pobreza e a desigualdade têm consequências diretas tanto sobre as famílias mais vulneráveis como sobre a sociedade como um todo. Uma das consequências mais graves e preocupantes da pobreza no Brasil é seu efeito negativo sobre o sucesso educacional e, conseqüentemente, sobre a mobilidade social e econômica. Observe-se, por exemplo, o gráfico abaixo.

VULNERABILIDADE FAMILIAR E EDUCAÇÃO BÁSICA [2012-2014]



Fonte: BARROS, R. P. *Por que no Brasil a Educação não Avança?* (Palestra). Rio de Janeiro: BNDES, 2017.

Enquanto todas as crianças de famílias não vulneráveis completam o 9º ano do ensino fundamental com, no máximo, um ano de atraso, apenas um terço daquelas em famílias muito vulneráveis alcançam esse resultado.

Do ponto de vista social, as consequências da pobreza também são graves. Embora existam claras evidências de que a relação entre desigualdade e participação política é complexa e depende do tipo de desigualdade considerado, é claro que a desigualdade acentuada em nada contribui e pode mesmo prejudicar a qualidade da vida democrática e participativa – por exemplo, um estudo realizado durante as eleições nacionais norte-americanas em 2000 apontou que as pessoas votam menos onde há segregação econômica entre áreas próximas.<sup>[iv]</sup>

Da mesma forma, embora seja muito controversa a relação entre pobreza e violência, a evidência científica corrobora a hipótese de que a desigualdade em nada contribui para a manutenção de uma sociedade pacífica, respeitosa e valorizadora da diversidade.<sup>[v]</sup> Além disso, a despeito de alguma evidência recente em contrário, as análises científicas que apontam para a existência de uma forte correlação negativa entre desigualdade acentuada e crescimento econômico continuam dominantes.<sup>[vi]</sup>

# CIÊNCIA E DESENHO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Na maioria dos países com renda mediana ou alta, o gasto público na área social ultrapassa 20% da renda nacional.<sup>[vii]</sup> Planejar a melhor forma de investir esse recurso é, portanto, indispensável. O conhecimento científico, embora fragmentado e incompleto, pode ser incorporado na formulação de políticas públicas para evitar erros, aumentando a eficácia dessas políticas e reduzindo seus custos.

É importante ressaltar que a incorporação do conhecimento científico básico sobre os determinantes de um dado resultado de valor (poder aquisitivo, por exemplo) ao desenho de políticas públicas voltadas à promoção equitativa desse resultado não é tarefa simples. Embora essa incorporação possa ser feita por gestores públicos bem informados, a participação direta dos cientistas e pesquisadores no desenho de propostas de política social certamente facilita a incorporação do conhecimento científico e contribui para a formulação de propostas mais eficazes.

Por um lado, o conhecimento produzido pela ciência ajuda a desenhar políticas públicas com o objetivo de reduzir a pobreza e a desigualdade modificando ou influenciando suas causas (por exemplo, promovendo uma melhor distribuição de renda por meio da garantia de acesso de todos a uma educação de qualidade). Por outro lado, a informação científica pode ser utilizada não para modificar os fatores que determinam a pobreza, mas para reduzir sua influência sobre a pobreza. Esse é o caso, por exemplo, das ações antidiscriminatórias nas quais o objetivo não é modificar os atributos relacionados com a pobreza, e sim fazer com que esse atributo deixe de exercer qualquer influência sobre a pobreza.

Além disso, a ciência pode contribuir para o desenho de políticas sociais por meio do desenvolvimento de novas tecnologias que viabilizem o acesso dos mais pobres a determinados bens e serviços, ou que tornem esse acesso mais barato. Esse é o caso, por exemplo, de desenvolvimentos científicos que levam ao barateamento dos alimentos e também dos avanços que tornam possível levar às comunidades mais isoladas, de forma economicamente factível, serviços básicos como energia elétrica, saneamento e tratamento de resíduos sólidos.

---

A política brasileira de combate à pobreza e à desigualdade tem seguido as três vertentes mencionadas acima. Na busca por reduzir a discriminação ou a desigualdade de oportunidade, foi introduzido no país um amplo sistema de cotas para a população pobre e negra, seja para o acesso à educação superior, seja para o acesso a melhores postos de trabalho, em particular no sistema público. Sistemas de cotas similares vêm sendo implantados com vistas a promover a igualdade de gênero na representação política e no mercado de trabalho. Esses sistemas de cotas têm sido, desde sua implantação, alvo de amplo debate dentro da comunidade científica.

Porém, como era de se esperar, a política de combate à pobreza e à desigualdade tem sido preponderantemente dominada por programas que interferem de forma mais direta na renda das famílias, de forma compensatória – programas baseados em transferência de renda que aliviam a pobreza sem efetivamente combater ou eliminar suas causas, como bolsa-família e seguro-desemprego – ou voltados para modificar os determinantes da pobreza via inclusão produtiva dos mais pobres. Esses últimos operam ampliando as oportunidades de trabalho ou melhorando a qualidade das oportunidades de trabalho disponíveis, como foi o caso dos cerca de 100 projetos que compunham o programa Brasil Sem Miséria.<sup>[viii]</sup>

Como exemplos da importância da ciência para o desenvolvimento de novas tecnologias que viabilizam o acesso dos mais pobres a determinados bens e serviços, destacam-se o papel histórico desempenhado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) na expansão da oferta e redução no preço dos alimentos no Brasil e os programas do Sistema Único de Saúde (SUS) que envolvem agentes comunitários com escolaridade de nível médio ou primário – projetos de efetividade comprovada na promoção da saúde, prevenção de doenças e agravos, tratamento de enfermos e até atenção ao parto domiciliar.

# MELHORES PRÁTICAS

Além de ajudar no desenho de políticas públicas, outra tarefa em que a ciência pode ter contribuição relevante para o combate à pobreza e à desigualdade é a avaliação de programas sociais. Métodos científicos com abordagens qualitativas e quantitativas têm sido utilizados tanto para avaliar o desempenho de uma ampla variedade de aspectos dos programas existentes como para simular o desempenho de programas hipotéticos.

Propõe-se aqui que a avaliação de projetos ou políticas públicas esteja baseada na análise de quatro temas centrais: mobilização da sociedade, utilização eficiente dos recursos, adequação do programa aos seus objetivos e adequação do programa ao público-alvo da proposta.

Em primeiro lugar, é necessário avaliar se a sociedade se sensibilizou, se mobilizou e, em função disso, alocou recursos em quantidade suficiente para efetivamente executar uma política realista de combate à pobreza e à desigualdade. Assim, o ponto de partida de qualquer avaliação científica de uma política pública deve ser uma avaliação do grau em que a sociedade foi capaz de mobilizar os recursos necessários para enfrentar a causa em questão.

Resolvida a questão da disponibilidade de recursos, os métodos científicos de avaliação devem se dirigir à eficiência com que esses recursos são utilizados. De que adianta ter recursos, se eles forem usados de forma ineficiente ou inadequada? O objetivo de todo programa social é promover uma transformação a partir da utilização de certos insumos. A transformação desejada (redução na pobreza e na desigualdade) depende diretamente da utilização eficiente dos insumos disponíveis.

## EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DE RECURSOS

### AQUISIÇÃO

- Em que medida o projeto foi capaz de adquirir a maior quantidade de insumos possível dado o orçamento disponível?

### UTILIZAÇÃO

- Em que medida o programa foi capaz de oferecer serviços para a maior quantidade de pessoas e da melhor qualidade possível?
- Em que medida seria possível atender a mesma quantidade de pessoas, com a mesma qualidade, utilizando um volume menor de recursos?

### ALOCAÇÃO

- Em que medida os insumos estão sendo utilizados nas proporções corretas?
- O projeto usa mais intensamente o que é mais barato e limita a utilização do que é mais escasso e caro?

Um bom desempenho depende também da adequação do programa aos objetivos que se deseja alcançar. Um programa pode ser maravilhosamente implantado sem que tenha qualquer impacto significativo sobre a pobreza ou a desigualdade. Assim, o terceiro aspecto a ser avaliado de um programa social é a sua eficácia: em que medida esse programa, se devidamente implantado, irá efetivamente reduzir a pobreza ou a desigualdade?

Avaliar o impacto de um programa requer estimar uma relação causal, isto é, identificar como e em que medida a implantação de um programa causará mudanças no grau de pobreza e desigualdade da população. Para isso, é necessário realizar a desafiante comparação entre o que aconteceria na presença do programa com o que aconteceria na sua ausência.

Por fim, programas sociais, por mais eficazes que sejam, não terão capacidade de gerar a desejada redução na pobreza e na desigualdade se não forem dirigidos à população-alvo ou mais necessitada. Assim, o quarto aspecto a ser avaliado é a adequação da população atendida pelos programas. De fato, programas potencialmente eficazes na redução da pobreza, se dirigidos a segmentos não pobres, evidentemente não terão capacidade de atingir seu objetivo.

É importante ressaltar, ainda, que a população pobre é heterogênea e tem necessidades diversas. Assim, não basta que um programa específico de combate à pobreza (microcrédito, por exemplo) seja dirigido à população pobre. É necessário que ele seja dirigido ao segmento da população pobre que mais poderá se beneficiar dele (microempresários pobres com oportunidades de negócios com grande potencial que enfrentam restrição de crédito, por exemplo). O sucesso de qualquer política de combate à pobreza requer uma análise detalhada da adequação ao perfil dos beneficiários.

Embora o número de avaliações de programas sociais venha crescendo no Brasil, ainda é pequena a parcela das políticas sociais que são objetivamente avaliadas. A maior parte dos estudos disponíveis não tem como foco isolar e estimar a contribuição específica de cada programa para o progresso alcançado no período, e tampouco existe um número significativo de avaliações da eficiência com que esses programas operam. Estudos do grau de focalização são mais fáceis de serem realizados e, talvez por esse motivo, mais abundantes na literatura científica brasileira.

Além de realizar avaliações mais frequentes e mais objetivas, vale notar que, para que essas avaliações tenham o impacto desejado no aprimoramento das políticas públicas, seus resultados precisam ser disponibilizados, de forma amigável, aos gestores públicos responsáveis pelo desenho dessas políticas.



# ALÉM DA CIÊNCIA

Como já foi exposto neste capítulo, o conhecimento científico não pretende ser recurso exclusivo na formulação ou avaliação de políticas públicas. No entanto, a ABC reconhece, por outro lado, os altos custos que podem ser evitados quando a comunidade científica presta sua colaboração legítima na definição, implementação e avaliação de políticas de inclusão social.

Um programa de ciência para o Brasil não pode ignorar que a superação das injustiças passa por um esforço de inclusão social que com certeza trará igualmente maior prosperidade para o país. A continuidade e a ampliação da pesquisa científica visando reduzir a pobreza e a desigualdade são vitais tanto para responder ao imperativo ético da justiça, quanto para pôr fim ao desperdício de talentos e recursos naturais que entram o potencial de crescimento e geração de riquezas no Brasil.



### SUGESTÕES PARA LEITURA

CAMPELLO, T.; FALCÃO, T.; COSTA, P. V. (Orgs.). **O Brasil Sem Miséria**. Brasília: MDS/ SESEP, 2014.

UNITED NATIONS. **The Millennium Development Goals Report 2015**. New York: United Nations, 2015. 75 p. Disponível em:

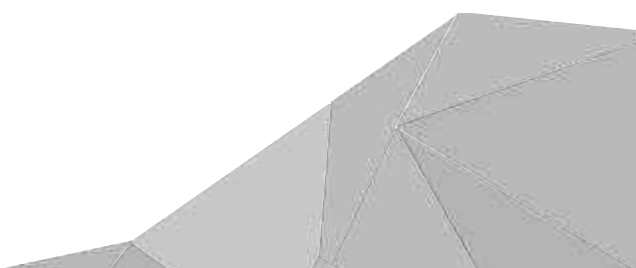
<[http://www.un.org/millenniumgoals/2015\\_MDG\\_Report/pdf/MDG 2015 rev \(July 1\).pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%2015%20rev%20(July%201).pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2018.

WORLD BANK GROUP. **Poverty and Shared Prosperity 2016: Taking on Inequality**. Washington: World Bank, 2016. 193 p. Disponível em:

<<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25078/9781464809583.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

- 
- [1] Saiba mais em: <<http://www.objetivosdomilenio.org.br/>>.  
[2] Mais informações em: <<https://www.todospelaeducacao.org.br/>>.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] BARROS, R. P.. Challenges to Sustainable Inclusive Growth in Brazil. (Palestra apresentada no evento) **Brazil Unveiled: The Political, Economic And Institutional Reality**. Belo Horizonte: Fundação Dom Cabral, 2016.
- [ii] BARROS, R. P.; COUTINHO, D.; MENDONÇA, R. **Desafios ao Crescimento Inclusivo Brasileiro**. [S.l.]: Mimeo, 2015.
- [iii] CAMPELLO, T.; NERI, M. C. **Programa Bolsa Família: uma década de inclusão e cidadania**. Brasília: Ipea, 2013.
- [iv] SCHROEDER, M. B.. Economic inequality and political participation: scale matters. In: **Population Association Of America Annual Meeting** (poster session). Detroit: PAA, 2009. p. 1 - 35. Disponível em: <<http://paa2009.princeton.edu/papers/91157>>. Acesso em: 22 mar. 2018.
- [v] FAJNZYLBER, P.; LEDERMAN, D.; LOAYZA, N.. Inequality and Violent Crime. **The Journal Of Law And Economics**, [s.l.], v. 45, n. 1, p.1-39, abr. 2002. University of Chicago Press. <<http://dx.doi.org/10.1086/338347>>.
- [vi] BOUSHEY, H.; PRICE, C. C.. **How Are Economic Inequality and Growth Connected?: A Review of Recent Research**. Washington: Washington Center For Equitable Growth, 2014. 29 p. Disponível em: <<http://equitablegrowth.org/wp-content/uploads/2014/10/100914-ineq-growth.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2018.
- [vii] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Social Expenditure Database**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/social/expenditure.htm>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- [viii] CAMPELLO, T.; FALCÃO, T.; COSTA, P. V. (Org.). **O Brasil sem miséria**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, 2014. 848 p. Disponível em: <[http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil\\_sem\\_miseria/livro\\_o\\_brasil\\_sem\\_miseria/livro\\_obrasilsemmiseria.pdf](http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil_sem_miseria/livro_o_brasil_sem_miseria/livro_obrasilsemmiseria.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2018.
- 



---

# 10

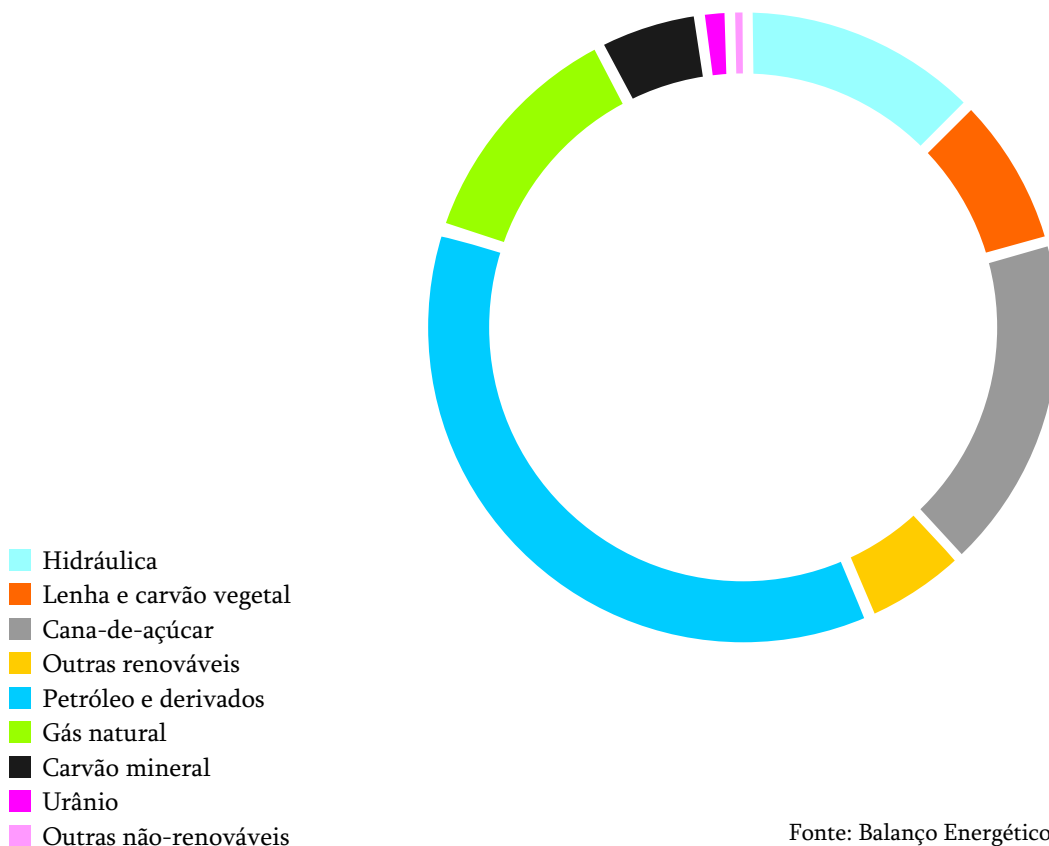
## ENERGIA, UM DESAFIO PARA O FUTURO

---

EMBORA O PERFIL DE CONSUMO ENERGÉTICO NO BRASIL  
ESTEJA ATUALMENTE DENTRO DOS PADRÕES  
DE SUSTENTABILIDADE DESEJÁVEIS, É PRECISO  
ASSEGURAR QUE PERMANEÇA ASSIM

O consumo de energia *per capita* do brasileiro é próximo da média mundial, mas bem abaixo daquele observado nos grandes países industrializados. Além disso, a matriz energética do país tem uma característica positiva e rara: cerca de 40% da energia utilizada no Brasil vêm de fontes renováveis, enquanto, no contexto global, a fração de renováveis na matriz energética representa 14% do total.<sup>[i]</sup> Este parece um cenário favorável – e é, em muitos aspectos –, mas requer atenção. Como o Brasil tem muito a crescer e se desenvolver, é necessário que esse crescimento seja feito de forma a acompanhar o consumo sustentável de energia, mantendo níveis próximos dos atuais.

FORNECIMENTO DE ENERGIA NO BRASIL (2015)



Fonte: Balanço Energético Nacional 2017

Neste capítulo, a ABC propõe revisitar o estado da matriz energética brasileira, a começar pela geração de energia elétrica. Embora a hidroeletricidade seja uma tecnologia bem estabelecida no país – as usinas existentes são responsáveis por cerca de 70% do consumo de eletricidade no Brasil<sup>[ii]</sup> –, há problemas que necessitam mais estudos, como a expansão do sistema hidrelétrico na Amazônia e seus impactos sociais, econômicos e ambientais e o aumento da produtividade do etanol da cana-de-açúcar, que estagnou após 30 anos de crescimento a taxas superiores a 3% ao ano.<sup>[iii]</sup>

Além da energia hidrelétrica, merecem atenção a energia solar, de participação ainda reduzida, e a energia eólica, atualmente em acelerada expansão. Em ambos os casos, uma preocupação relevante é a necessidade de formas eficazes de armazenamento de energia nas atuais usinas hidrelétricas, em usinas reversíveis ou mesmo em baterias.

O hidrogênio é outra aposta importante para os próximos anos, em especial para ser usado como combustível nos sistemas de transporte ou como elemento de armazenamento de energia. Na área do petróleo, é desejável desenvolver tecnologias para melhorar o aproveitamento dos poços convencionais e baixar custos da exploração do pré-sal.

Já a energia nuclear, para que ocupe papel mais relevante na matriz energética brasileira, requer estudos no sentido de torná-la mais segura e mais competitiva do ponto de vista dos custos. Finalmente, são necessárias pesquisas mais aprofundadas sobre a energia dos oceanos, a geotérmica e o gás de folhelho. O Brasil precisa levantar o potencial existente dessas formas de energia e traçar estratégias para seu melhor aproveitamento.



# ELETRICIDADE

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel)<sup>[iii]</sup> em março de 2018, o Brasil tem capacidade instalada de 166,6 gigawatts (GW) de geração elétrica, dos quais 101,3 GW são provenientes da hidroeletricidade. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE)<sup>[iv]</sup>, considerando um crescimento aproximado de 3,7% ao ano, a expectativa é de que, em 2026, essa capacidade de produção chegue aos 212 GW.

É sabido que o país tem potencial para gerar pelo menos o dobro da energia hidrelétrica que produz atualmente. Porém, a expansão da produção esbarra em uma delicada questão social e ambiental: a instalação de usinas e linhas de transmissão na Amazônia.<sup>[v]</sup> Uma alternativa para minimizar possíveis impactos da criação de uma infraestrutura para a hidroeletricidade na região foi a construção, nos últimos anos, de usinas sem reservatórios ou com reservatórios reduzidos.

Essa estratégia teve, no entanto, algumas desvantagens. Em períodos de estiagem prolongada, como ocorreu de 2011 a 2014, foi preciso acionar usinas termoelétricas para garantir o suprimento de energia. Assim, a participação térmica, que era inferior a 2.000 megawatts (MW) médios, cresceu significativamente, aumentando por consequência o custo da energia e as emissões de gás carbônico decorrentes de sua geração. A participação da biomassa na geração de eletricidade, principalmente a partir de bagaço de cana, atenuou um pouco, mas não resolveu este problema.

Ainda que controversos, os reservatórios de centrais hidrelétricas constituem solução relevante para o armazenamento de energia, que será essencial à medida que se expandir a fração de fontes renováveis intermitentes, como eólica e solar, no sistema elétrico brasileiro. É fundamental avaliar riscos e benefícios de sua utilização.



A ABC recomenda que pesquisas sejam realizadas para caracterizar as bacias hidrográficas em que a construção de hidrelétricas com reservatórios tenha o menor impacto. Entende-se impacto, aqui, de uma forma ampla, uma vez que a falta de reservatório e o aumento de gerações intermitentes (solar e eólica) certamente implicará no maior uso de usinas térmicas, com consequente aumento da geração de CO<sub>2</sub>. Nesse contexto, os estudos de impacto ambiental para a construção de hidrelétricas devem ser aperfeiçoados, considerando todos os problemas energéticos, biogeofísicos, econômicos e sociais envolvidos. Essa abordagem poderá apoiar planos estratégicos futuros para oferecer melhores oportunidades de usos múltiplos de represas hidrelétricas e atender às expectativas das populações locais e regionais.



Usina Hidrelétrica de Itaipu. Crédito: International Hydropower Association/CC BY 2.0

# BIOENERGIA

A produção de etanol de cana-de-açúcar é solidamente estabelecida no Brasil, o que fez do país o segundo produtor mundial desse tipo de combustível, logo abaixo dos Estados Unidos, onde ele é produzido a partir do milho. Em mais de 300 usinas na região Sudeste, onde a irrigação não é necessária, são produzidos atualmente cerca de 25 bilhões de litros de etanol por ano, graças ao aumento de produtividade possibilitado por inovações nas etapas agrícola e industrial de produção.

Apesar de apresentar produtividade agrícola superior a todas as outras culturas, a cana-de-açúcar tem potencial para aumentar sua produtividade e, para tanto, mais pesquisas são necessárias. Outro tema relevante de pesquisa é a produção industrial de etanol de 2ª geração, que utiliza bagaço, palha e folhas da cana-de-açúcar. Sua produção, ainda pequena, encontra problemas de engenharia, para cuja solução mais pesquisas são fundamentais.

Também importante é a eletricidade gerada e injetada na rede elétrica pelas usinas de cana. Embora custoso, o processo pode gerar lucros para os usineiros se for desenvolvido de maneira constante, e não sazonal como a colheita de cana, que dura cerca de 220 dias por ano. Possibilidades para aumentar o número de dias de operação das usinas incluem ampliar a produção anual de etanol e eletricidade com o uso de outra cultura, em paralelo com a cana; ampliar a produção anual de eletricidade estocando resíduos sólidos da cana ou do sorgo; ou, ainda, complementar a cana com o uso de biomassa oriunda de plantação de árvores de crescimento rápido, de forma que sejam usadas no período de entressafra.

Entre as várias áreas que devem ser estudadas em profundidade no aperfeiçoamento da produção de etanol e fontes relacionadas de bioenergia, a ABC lista, a seguir, algumas mais promissoras:

# 1

---

Desenvolver e implantar a produção de etanol de segunda e terceira gerações, aumentando a produção com uso de bagaço e palhas da cultura de cana-de-açúcar;

# 2

---

Desenvolver equipamentos para mitigar os problemas causados pelas colhedoras de cana-de-açúcar, tais como compactação do solo (que prejudica a produtividade),<sup>[vi]</sup> perdas nas colheitas (pela dificuldade de aproveitar toda a cana e porque podem arrancar a cana, em vez de apenas cortá-la rasante ao solo) e redução da qualidade da cana colhida (porque arrastam terra do solo na operação de colheita);<sup>[vii]</sup>

# 3

---

Aprimorar a produção de biogás a partir da vinhaça e da torta de filtro, resíduos da produção de etanol, e do processamento da cana. O processo exige biodigestores bem planejados e sistemas de limpeza do gás otimizados;<sup>[viii]</sup>

# 4

---

Auxiliar a elaboração de políticas públicas que promovam a utilização de etanol em motores ciclo Diesel, conforme demonstrado por projeto piloto na cidade de São Paulo;<sup>[ix]</sup>

# 5

---

Instalar equipamentos de geração termelétrica de eficiência semelhante aos usados na indústria de papel e celulose, de forma a ampliar a geração de bioeletricidade a partir dos resíduos de cana, bem como ampliar o período de geração por meio do uso de biomassa de outras fontes.

# ENERGIA SOLAR

Em todo o mundo, nas últimas décadas, as tecnologias para aproveitamento de energia solar experimentaram avanço acelerado, seja na produção de eletricidade, calor ou combustíveis. No Brasil, em particular, há tentativas, ainda com resultados incipientes, de desenvolver painéis fotovoltaicos mais eficientes, além de muitos estudos sobre o uso dos painéis convencionais na geração de energia elétrica. Mas os estudos de maior impacto potencial, até agora, têm sido aqueles voltados ao desenvolvimento de tecnologias que possibilitam integrar os sistemas de energia solar à rede elétrica convencional – conversores de corrente contínua ou alternada, sistemas de armazenamento e tecnologias de comunicação têm papel fundamental nessa integração e ainda podem ser aperfeiçoados em novos estudos.

A integração econômica dessas tecnologias é outro tema de destaque, no sentido de oferecer vantagens comparativas para a expansão de sistemas baseados em tecnologias fotovoltaicas para geração de eletricidade. Além destas, as principais áreas de pesquisa para o melhor aproveitamento da energia solar incluem:



---

1

---

Melhorar as aplicações térmicas da energia solar em edificações, com equipamentos e materiais que passem a fazer parte integrante de sistemas construtivos (juntamente com painéis fotovoltaicos);

2

---

Produzir conhecimento para construir instrumentos de avaliação, como padrões de eficiência em edificações, para a regulamentação de práticas e tecnologias nesse setor;

3

---

Aumentar a eficiência das células solares e sistemas fotovoltaicos, bem como sua integração com a rede elétrica;

4

---

Aperfeiçoar os sistemas concentradores de energia solar.

# ENERGIA EÓLICA

A inserção de energia eólica na matriz energética brasileira teve início em 1998, com a instalação de dois parques eólicos no Ceará. Posteriormente, com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), vários parques foram instalados no Nordeste e no Sul do Brasil. Como resultado, houve uma expansão desse tipo de energia no país: de 2012 a 2018, o potencial de produção de energia eólica no Brasil passou de 1,5 GW para 13 GW.<sup>[ii]</sup> A região Nordeste, em particular, tem larga vantagem nessa atividade, devido aos seus ventos constantes e previsíveis. Seu fator de capacidade – medida de efetividade de uma turbina eólica – é da ordem do dobro da média mundial, que varia de 25 a 30%, com um potencial de exploração de mais de 500 GW.<sup>[x]</sup>

Por esses motivos, a participação da energia eólica na matriz elétrica nacional, que atualmente é de apenas 7,4% e em alguns períodos do ano chega a 10%,<sup>[xi]</sup> tende a crescer a passos largos. Para apoiar esse crescimento, é necessário que o Brasil invista na cadeia da produção de energia eólica, principalmente naqueles tópicos com maior valor agregado, como:

# 1

---

Desenvolver modelos de avaliação e do potencial dos ventos brasileiros para determinação mais precisa da capacidade de geração eólica de regiões do país e localização de parques, principalmente considerando torres de geração mais altas que as atuais e previsão precisa da intensidade e variabilidade dos ventos, considerando intervalos de poucas horas ou dias;

# 2

---

Criar novos materiais para ímãs permanentes e supercondutores para os geradores, incluindo materiais compósitos para pás maiores e mais leves, visando diminuir o custo dessa energia;

# 3

---

Viabilizar a interconexão do sistema eólico à rede elétrica, com controle de qualidade da energia elétrica no ponto de conexão (serviços ancilares);

# 4

---

Dar ênfase aos parques eólicos *offshore*, principalmente na costa do Nordeste e do Norte;

# 5

---

Desenvolver formas de controle e transmissão rápida de energia elétrica, incluindo novos sistemas de transmissão em corrente contínua para compensar a alta variabilidade da geração eólica, assim como associar a geração de energia eólica aos conceitos de redes elétricas inteligentes;

# 6

---

Desenvolver aerogeradores de pequeno porte (dezenas a centenas de kW) e estudos dos ventos para uso em zonas rurais e urbanas.

# ENERGIA DO OCEANO

As fontes oceânicas de energia podem ser classificadas em seis categorias: ondas, amplitude de maré, corrente de maré, corrente oceânica, gradiente térmico e gradiente de salinidade (energia osmótica). No Brasil, a extensa costa e a vasta área de mar territorial são condições naturais que abrem perspectivas para o aproveitamento energético dos recursos renováveis do mar, com particular interesse e competitividade na conversão de energia das ondas, nas regiões Nordeste, Leste e Sul, e das marés, nas regiões Norte e Nordeste, em especial no estado do Maranhão.

Alguns estudos<sup>[xii, xiii]</sup> já avaliaram as rotas tecnológicas para conversores de energia proveniente de ondas e marés em condições locais. No Porto do Pecém, no Ceará, foi instalado um protótipo para realização de testes de desempenho e se produziu, em fase experimental, eletricidade a partir das ondas. A interação das marés com o fluxo dos rios amazônicos também tem sido objeto de estudos promissores. Estima-se um potencial teórico da ordem de 100 GW para ondas e marés próximas à costa brasileira, o que poderá contribuir para a ampliação da oferta e para a diversificação da matriz energética do país.

Por outro lado, as demais fontes oceânicas requerem esforços adicionais de pesquisa para a viabilização de eventuais protótipos. Entre as áreas sobre as quais a ciência poderá se debruçar nos próximos anos estão:





---

1

---

Criar infraestrutura de pesquisa específica para o estudo da energia oceânica, incluindo medições *in-situ*, em combinação com avaliações por satélite;

2

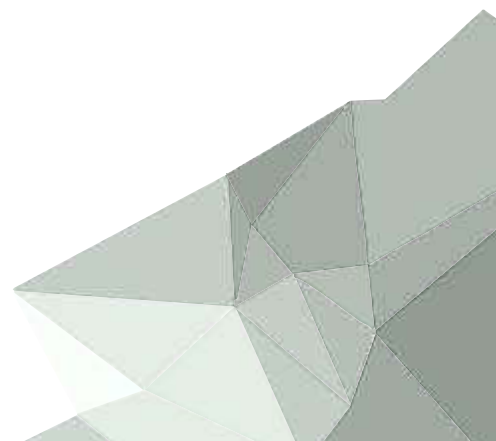
---

Considerar o aproveitamento das fontes oceânicas renováveis para aplicação nos processos de dessalinização da água do mar, muito importante para várias regiões do Brasil;

3

---

Criar um Programa Nacional de Energias Oceânicas Renováveis, com foco em: a) levantamento dos recursos energéticos, considerando as seis fontes de energias oceânicas; b) desenvolvimento de tecnologias; c) adequação de laboratórios e implantação de parques de testes.



# CAPTURA E SEQUESTRO DE CARBONO

O esforço de evitar a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera tem sido amplamente estudado como forma de mitigar as mudanças climáticas. Mas poucos projetos avaliam a possibilidade de aproveitar esse gás de efeito estufa em larga escala no setor de energia, uma possibilidade que oferece dupla vantagem: ampliar, ao mesmo tempo, o sequestro de carbono e a geração elétrica.

Alguns programas de captura e sequestro de carbono (CCS, na sigla em inglês) têm sido implementados com sucesso, por exemplo, nos Estados Unidos e na Europa, como demonstrado pelo Global CCS Institute.<sup>[1]</sup> Embora a quantidade de CO<sub>2</sub> capturado seja modesta, é importante valorizar o fato de CCS poder ser uma tecnologia de emissões negativas, ou seja, que resulta na remoção líquida de gases de efeito estufa da atmosfera,<sup>[xiv]</sup> com baixo custo. Nesse contexto, destacam-se a CCS que usa biomassa como insumo energético com a captura do CO<sub>2</sub> da fermentação do etanol.

Considerando que o Brasil reúne as características necessárias para a produção de bioenergia com CCS, a ABC sugere, como prioridades de pesquisa:

---

# 1

---

Instrumentalizar a indústria do etanol com o propósito de obter emissão negativa de gases de efeito estufa, agregando valor ao combustível;<sup>[xvi]</sup>

# 2

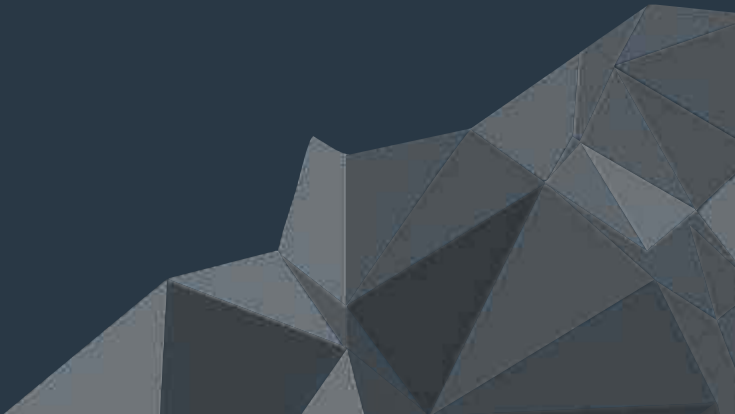
---

Examinar em detalhes potenciais nichos de aplicação da CCS em indústrias, como, por exemplo, a indústria de cimento;

# 3

---

Implantar uma unidade piloto em escala semi-industrial numa usina próxima de campo de petróleo exaurido – por exemplo, a Bacia de Campos –, que seria um reservatório natural do CO<sub>2</sub> capturado.



# ENERGIA NUCLEAR

Por se tratar de uma das fontes de energia com menor emissão de gases de efeito estufa, a energia nuclear vem sendo rediscutida ou ampliada em vários países, incluindo China, Estados Unidos, Reino Unido e Rússia. Os custos competitivos, no caso dos reatores nucleares de terceira geração, a alta densidade energética e a crescente aceitação pública, em consequência da demonstração da segurança na operação de mais de 440 usinas nucleares nos últimos 60 anos, têm contribuído para essa retomada.

No Brasil, as usinas nucleares são importantes para a diversificação e complementação da geração térmica e compõem a melhor alternativa para fontes de base, de modo a liberar as hidrelétricas e térmicas convencionais usadas para mitigar a intermitência na geração solar e eólica. Com o aumento das gerações intermitentes, é importante desenvolver estudos e pesquisas para planejamento das usinas de base, com o objetivo de gerar segurança energética no país.

Vale notar, no entanto, que a produção de resíduos nucleares é a principal desvantagem do uso dessa energia para geração de eletricidade, ainda que o volume produzido seja muito menor do que aquele proveniente de outras atividades industriais. Os resíduos nucleares são inegavelmente perigosos, mas há inúmeras formas de processamento, armazenamento e gerenciamento desses resíduos.

Rejeitos radioativos são classificados nas categorias de baixa, média e alta atividade, conforme a duração da vida dos materiais nucleares. Atualmente, centros de pesquisa ao redor do mundo estão desenvolvendo um novo tipo de reator nuclear que, ao mesmo tempo em que gera energia, reduz o tempo de vida dos rejeitos radioativos de alta atividade. O conceito é bem simples e utiliza aceleradores de partículas combinados à fissão nuclear, o que tornará a operação da usina nuclear mais segura.

Considerando esses fatores, a ABC propõe como prioridades no estudo da energia nuclear:

# 1

---

Desenvolver tecnologias de mineração e produção do concentrado de urânio e também de separação do urânio associado a outros minérios que existem em grandes volumes em diferentes ambientes geológicos no país;

# 2

---

Aperfeiçoar os processos químicos envolvidos na conversão do concentrado de urânio em hexafluoreto de urânio, uma etapa do ciclo de produção de energia que ainda não faz parte das atividades industriais nucleares do país por questões econômicas. Também na conversão do urânio, estimular o desenvolvimento de tecnologias para aperfeiçoar a produção de flúor nascente por eletrólise de sais de flúor, que possibilitaria a produção comercial de hexafluoreto de urânio;

# 3

---

Fomentar pesquisas para o desenvolvimento de materiais estratégicos para o enriquecimento isotópico de urânio, incluindo aperfeiçoar a tecnologia das ultracentrífugas, desenvolvida autonomamente no país. Destacam-se as pesquisas com aço maraging e a investigação de parâmetros de processos para produção de fibra de carbono a partir da poliacrilonitrila (PAN);

# 4

---

Desenvolver sistemas computacionais para análise neutrônica e termo-hidráulica de novos projetos de elementos combustíveis nucleares;

# 5

---

Criar equipamentos e linhas de produção em escala industrial para produção de ligas de zircônio;

# 6

---

Dar continuidade e manter atualizado o Laboratório de Fusão Nuclear, de modo a desenvolver reatores avançados de terceira e quartas gerações ou híbridos fissão-fusão.

# HIDROGÊNIO

Na busca por soluções energéticas sustentáveis, o hidrogênio ( $H_2$ ) vem despontando como alternativa promissora. Ele pode ser convertido diretamente em energia térmica, mecânica e elétrica, tendo elevada energia por unidade de massa, se comparado ao petróleo ou ao carvão. Já é usado, também, como combustível primário, com bons padrões de desempenho e segurança, em aplicações como processos industriais (indústria petroquímica e fertilizantes) e de transporte (ônibus, automóveis, utilitários industriais etc.).

A produção direta de eletricidade a partir do  $H_2$  ocorre em “células a combustíveis” com duas características muito significativas: o único resíduo da célula é água pura e vem se mostrando tecnológica e economicamente viável em escala com várias ordens de grandeza, desde pequenos dispositivos para produção distribuída até grandes usinas. Em 2016, já se estimava existir no mundo infraestrutura para produzir mais de 300 MW a partir do hidrogênio.<sup>[xvii]</sup>

No Brasil, alguns grupos e laboratórios trabalham com a energia do hidrogênio, inclusive desenvolvendo protótipos de armazenamento, motores e veículos. O setor produtivo, porém, ainda não se dedica a esta fonte de energia. Por isso, é fundamental incrementar a formação de recursos humanos e infraestrutura experimental, além de criar políticas públicas para estudos relativos a produção, armazenamento, transporte e rotas tecnológicas para incorporação do hidrogênio nas mudanças da matriz energética brasileira.

Até recentemente, acreditava-se que o hidrogênio não era encontrado na natureza na forma de gás puro ou mesmo misturado a outros gases. No entanto, publicações recentes<sup>[xviii]</sup> mostram que o hidrogênio pode ser encontrado na natureza e pode ser minerado – um fato que, se confirmado em quantidade, pode iniciar uma verdadeira revolução.

Nesse contexto, alguns temas prioritários devem ser:

---

1

---

Desenvolver pesquisas sobre o processo de obtenção do hidrogênio, principalmente usando energia de fontes renováveis ou tecnologias com emissão zero de poluentes, por meio, por exemplo, da recuperação de produtos derivados da produção e do uso de combustíveis fósseis (vapores de metano), dos processos de armazenagem e sequestro de carbono ou da gaseificação de biomassa;

2

---

Aprimorar o processo de geração de energia elétrica em células a combustível, além do processamento dessa energia para uso final, visando, principalmente, eficiência, confiabilidade e segurança;

3

---

Aprofundar os estudos sobre a segurança do armazenamento e uso do  $H_2$ , um gás altamente inflamável;

4

---

Aprofundar as pesquisas em fotólise direta – quebra de moléculas de água usando a luz do sol – para obtenção de  $H_2$  de forma mais eficiente do que usando painéis fotovoltaicos e eletrolisadores;

5

---

Estudar e avaliar se o hidrogênio natural existe em quantidade e com densidade suficiente para viabilizar sua exploração.

# PETRÓLEO

Por um lado, o já esperado declínio da produção de petróleo na Bacia de Campos tem sido compensado, com vantagem, pelo rápido aumento da produção nos reservatórios do pré-sal. Por outro, a volatilidade do preço do petróleo no mercado internacional tem colocado novos desafios sobre o custo de produção. Nesse sentido, pesquisa, desenvolvimento e inovação são vistos como potenciais aliados para o retorno financeiro dos empreendimentos, notadamente nos grandes reservatórios em águas profundas.

O aspecto fundamental da indústria do petróleo é o estabelecimento das reservas a serem posteriormente produzidas. É necessário empregar técnicas avançadas para interpretação de sinais oriundos do processo de exploração, no qual o levantamento sísmico e a perfuração de poços possibilitam a análise da viabilidade técnico-econômica dos reservatórios. O tipo de óleo e a mistura de gás irão contribuir para a definição da infraestrutura de produção.

Atualmente, nos reservatórios do pré-sal, essa infraestrutura é constituída por sistema submarino de produção, ligado por dutos a estruturas flutuantes que processam e armazenam o óleo.

Inovações disruptivas são esperadas para a próxima década, tanto na gestão dos reservatórios quanto na infraestrutura de processamento e exportação de óleo e gás. O aumento da recuperação de óleo dos reservatórios é foco de pesquisas com forte apoio de sistemas computacionais de alto desempenho. A presença de conteúdos relevantes de  $H_2S$  e  $CO_2$  tem induzido desenvolvimentos na área de materiais e de separação química, associada a captura e armazenamento de  $CO_2$ .

Destacam-se ainda projetos piloto, realizados no exterior, sobre a produção autônoma submarina, com redução do número de estruturas flutuantes e implantação do processamento submarino. Para isso, novos tipos de dutos, mais leves para facilitar a instalação e com maior capacidade de resistência às altas pressões hidrostáticas, além de isolamento térmico, são demandados para contribuir na garantia de escoamento, fase em que se deve evitar quedas acentuadas de temperatura no fluido transportado – o que poderia causar o bloqueio do escoamento pelo aparecimento de parafinas ou hidratos.





A produção autônoma submarina prevê uma força de trabalho reduzida, com sólida formação para atuar no controle e na operação remota dos equipamentos. Inspeção, manutenção e reparo exigirão automação e robotização mais acentuadas, com alto grau de confiabilidade dos equipamentos e sistemas de controle para garantir a segurança das operações e a proteção ambiental durante o ciclo de operação do sistema de produção.

No pré-sal, que tem se configurado como uma nova fronteira petrolífera com reservas relevantes, é necessário o planejamento de longo prazo, com o estabelecimento de ampla infraestrutura, que inclua base de suprimentos para apoio à logística das operações de campo, assim como geração de eletricidade e rede de distribuição submarina.

A desativação dos sistemas de produção de petróleo e gás no mar merece especial atenção, devido à previsão de um número considerável de campos que encerrarão na próxima década o ciclo produtivo. É necessário minimizar os impactos ambientais após o abandono do campo, com custos adequados para a interrupção da produção dos poços e retirada da estrutura de apoio e de alguns dos equipamentos submarinos. Para isso, é necessário que um maior conhecimento sobre a fauna e a flora marinhas fundamente a tomada de decisão.

Simulações computacionais, com base em métodos numéricos processados por supercomputadores, e programas experimentais em laboratório e no campo são fundamentais para o avanço do conhecimento e a busca de soluções inovadoras que garantam a sustentabilidade das atividades do setor petrolífero. Tecnologias digitais, como automação, inteligência artificial, realidade virtual e armazenamento em nuvens, entre outras, terão forte impacto na indústria do petróleo, contribuindo para que as inovações disruptivas se tornem técnica e economicamente viáveis. A inserção dessas tecnologias digitais na indústria do petróleo é tema prioritário de pesquisa e desenvolvimento.

A ABC recomenda esforços para:

---

1

---

Realizar atividades numéricas e experimentais visando aumentar o percentual de recuperação de óleo e gás nos reservatórios;

2

---

Reduzir os custos do investimento dos grandes empreendimentos em águas profundas, automatizando o processamento submarino, com alto grau de confiabilidade dos equipamentos, e implantando redes submarinas de comunicação e distribuição de eletricidade;

3

---

Desenvolver novos materiais para o escoamento de fluidos com H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> e técnicas avançadas de simulação para a garantia de escoamento;

4

---

Aprofundar o conhecimento em tecnologias digitais, com aplicações em manutenção preditiva e na segurança das operações *offshore*;

5

---

Investir na preservação ambiental associada às atividades de exploração, produção e desativação, com foco em ecossistemas sensíveis e impactos na fauna e flora marinhas;

6

---

Transferir tecnologias da indústria *offshore* de óleo e gás para setores em desenvolvimento associados à geração de eletricidade por fontes oceânicas renováveis.

# GÁS DE FOLHELHO

Recentemente, cresceu no mundo o debate sobre as vantagens e desvantagens da exploração do gás de folhelho,<sup>[xix]</sup> para o qual o Brasil também tem potencial relevante. Em termos econômicos, o gás de folhelho é vantajoso devido ao seu preço inferior ao do gás do petróleo convencional *offshore*. Por outro lado, vale notar que, na exploração e produção de gás de folhelho, há risco de contaminação ambiental (vazamento de metano, uso de água, emissão de CO<sub>2</sub> etc.) similar ao que ocorre na produção de petróleo. Porém, como a produção do gás é feita em área continental, este risco pode ser controlado e minimizado empregando-se boas práticas da engenharia.

Para que, nos próximos anos, a produção de gás de folhelho no Brasil seja econômica e sustentável, serão necessárias as seguintes atividades:

1

---

Intensificar os estudos de avaliação de reservas próximas dos centros consumidores;

2

---

Desenvolver estudos para utilização das mesmas rochas produtoras de gás como reservatórios para estocagem de CO<sub>2</sub>, importante para o CCS;

3

---

Aperfeiçoar a legislação atual para exploração e produção de gás de folhelho, visando que a atividade ocorra em áreas onde os riscos ambientais sejam minimizados e controlados.

---

# ENERGIA GEOTÉRMICA

O calor proveniente do interior da Terra é uma fonte de energia limpa e abundante, que pode gerar eletricidade ou ser usada diretamente, como fonte de calor para diferentes processos. Atualmente, cerca de 30 países utilizam a energia geotérmica para a geração de eletricidade, numa produção que passou de 200 MW em 1950 para mais de 11 GW em 2015.<sup>[xx]</sup>

Por se situar em uma zona geotectônica estável, o Brasil não possui sistemas geotérmicos de alta quantidade de energia (entalpia) e, por isso, seu potencial de geração elétrica com fontes deste tipo é limitado. Por outro lado, há grande potencial para a utilização direta de energia geotérmica, na forma de calor, em processos industriais, atividades agrícolas e parques balneários, entre outros. Esse potencial está presente nas grandes bacias sedimentares do país: Amazonas, Paraná, Parnaíba e São Francisco.<sup>[xxi]</sup>

O aquífero Guarani, um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo, localizado na bacia do Paraná, possui excelentes fontes geotérmicas de baixa entalpia, com águas que alcançam temperaturas de até 90°C. Muitas dessas fontes são atualmente exploradas e utilizadas em atividades como estações balneárias e áreas de lazer. Situações pontuais mostram a existência de fontes geotérmicas com temperaturas que podem chegar a 180°C, como nas bacias do São Francisco e de Taubaté, que têm potencial para gerar eletricidade.

Sugere-se como prioridades de pesquisa neste tema:

## 1

---

Ampliar os conhecimentos geológico e geofísico das bacias sedimentares, em especial a amazônica;

## 2

---

Estimular o desenvolvimento tecnológico e industrial na área de geotermia, visando ao aproveitamento de áreas com sistemas de alta entalpia para geração de eletricidade ou substituição de outras fontes de calor.

# ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Produzir energia é um grande desafio, mas estocá-la na mesma escala é tarefa mais difícil ainda. Muitos impasses energéticos requerem, para serem superados, a resolução de problemas referentes ao armazenamento de energia. Por exemplo, há mais de um século fala-se no veículo elétrico, mas seu sucesso tem sido limitado pelas dificuldades de se armazenar energia em baterias que permitam autonomia similar à que se consegue com combustíveis líquidos. Nos últimos anos, o armazenamento de energia se tornou uma questão ainda mais crítica diante da redução ou eliminação dos reservatórios nas novas usinas hidrelétricas.

Existem várias possibilidades de armazenamento de energia de grande porte, como reservatórios de usinas hidrelétrica, ar comprimido, baterias de diferentes tipos (por exemplo, de íon de lítio ou níquel-cádmio), ou de pequeno porte como capacitores de dupla camada, volantes (*flywheels*) ou reatores supercondutores. Porém, todas essas tecnologias ainda necessitam de pesquisa e desenvolvimento, para baixar custos ou impacto ambiental, ampliar a capacidade de armazenamento e a densidade de energia por volume ou peso e para aprimorar a segurança, entre outros aspectos.<sup>[xxii]</sup>

Entre as aplicações em que se demanda armazenamento de energia, a mais crítica é o armazenamento para gerenciamento de energias renováveis intermitentes. Nesse contexto, há a possibilidade de se usar baterias ou – mais fácil – de se implementar usinas reversíveis ou sistemas de armazenamento em ar comprimido com altas potências e capacidade de energia. A tecnologia das usinas reversíveis já é relativamente estabelecida, mas depende de topografias que permitam a instalação de represas com baixo impacto ambiental. O armazenamento em ar comprimido também demanda local para armazenamento de ar, em geral, em minas abandonadas. Estudos e pesquisas para o desenvolvimento desses armazenadores de grande porte envolvem os aspectos intrínsecos às tecnologias, como, por exemplo, bombas controladas de altíssima potência nas usinas reversíveis, além de estudos e pesquisas para o controle da operação integrada de sistemas de geração intermitente, com sistemas inteligentes de armazenamento de energia.

Ainda no tema do armazenamento de energia, tecnologias para combustíveis gasosos na forma adsorvida são uma área de particular interesse. Nelas, os gases são armazenados em materiais porosos denominados adsorventes, e a afinidade entre o gás (adsorvato) e o adsorvente faz com que as moléculas do primeiro sejam aderidas à superfície do segundo. Esse processo, por ser facilmente reversível, é uma solução promissora e vantajosa se comparada ao armazenamento de gases nas formas líquida ou comprimida, mas necessita ainda de mais estudo.

---

As recomendações para este tópico são:

# 1

---

Realizar estudos de aplicação de sistemas de armazenamento de energia de grande porte para gerenciamento de energias renováveis intermitentes, incluindo estudo da tecnologia em si, de impactos ambientais, de operação e de controle inteligente;

# 2

---

Desenvolver tecnologias de armazenamento de gases, sendo o hidrogênio um dos principais, na forma adsorvida, tendo em vista a alta densidade de energia possível e a maior segurança;

# 3

---

Criar soluções de armazenamento de energia de menor porte como para os veículos elétricos, cuja autonomia precisa ser ampliada até tornar-se similar à dos atuais veículos de combustão interna;

# 4

---

Elaborar armazenadores para aparelhos portáteis para garantir maior autonomia a dispositivos como telefones celulares ou *notebooks*.

# REDES INTELIGENTES

Nos sistemas de energia elétrica convencionais, como uma usina hidrelétrica ou térmica, o aumento da demanda é atendido por um comando do operador do sistema para aumentar a geração. Porém, as novas fontes renováveis, como solar e eólica, não permitem, naturalmente, esse comando. Assim, nesses sistemas com alto percentual de fontes não controláveis, não há como se comandar a geração de energia.

Além disso, nos sistemas de distribuição, tem aumentado o número de geradores, intermitentes ou não, instalados pelos consumidores. Esta geração distribuída (GD) não é nem pode ser controlada pelo operador do sistema. Resta, então, ao operador, controlar a demanda, em vez da geração. Para garantir que o controle da demanda seja feito de forma que menos impacte o consumidor, criou-se o conceito de redes inteligentes.

Nos últimos anos, a expansão global das chamadas redes inteligentes tem sido caracterizada como uma tecnologia disruptiva, na medida em que cria oportunidades para o rompimento de paradigmas e crenças que direcionavam o setor elétrico tradicional, criando um ambiente propício para a ocorrência de uma verdadeira revolução no *status-quo* do setor, onde o controle das mudanças passa para o lado do consumidor.

Com a penetração da geração distribuída, cada vez mais as empresas distribuidoras precisarão conviver com demandas de energia e potência mais voláteis. Urge, portanto, aperfeiçoar o modelo institucional vigente e preparar o regramento do setor, com a fixação de regras para lidar com a GD que propiciem uma remuneração adequada das distribuidoras em um novo contexto de prestação de serviços de fio e reserva de capacidade, além de garantir qualidade no fornecimento de energia. Para isso, são necessárias pesquisas que permitam aferir os rebatimentos das transformações sobre o cotidiano das empresas, enquanto a nova era do setor se consolida. Sem preocupação de cobertura exaustiva, pode-se sugerir alguns tópicos prementes de investigação:



---

1

---

Realizar estudos de cenários de evolução da GD, em especial a mini e microgeração intermitentes ou não e sua penetração no mercado, incluindo os impactos dessa disseminação de recursos distribuídos e tecnologias de armazenamento de energia;

2

---

Inferir o comportamento dos consumidores frente à GD e aos sistemas de armazenagem e resposta à demanda, bem como a presença de veículos elétricos na rede;

3

---

Simular o desempenho elétrico de redes de distribuição com alta penetração de GD, analisando a volatilidade da demanda de energia no ponto de suprimento, a variação das perdas na rede e o planejamento da rede, considerando postergação de investimentos;

4

---

Desenvolver estudo para a implementação gradual dos conceitos de redes inteligentes, incluindo o desenvolvimento de sistemas de medição e comunicação rápidas e seguras;

5

---

Simular a variação do balanço energético das distribuidoras em função da evolução da capacidade instalada em micro e mini GD e o dimensionamento dos rebatimentos regulatórios da variação da carga da distribuidora no curto prazo, com eventuais sobras contratuais importantes;

6

---

Estudar a criação de operadores dos sistemas de distribuição para atuação articulada com o operador do sistema de transmissão, com definição de responsabilidades e formas de articulação. As empresas deverão ser também “seguidoras da geração” no futuro, além de seguidoras da carga, como são hoje.

# AUMENTO DE EFICIÊNCIA

Desafios da eficiência energética no Brasil estão relacionados a pesquisas de metodologias para contabilizar, monitorar e rastrear o potencial de eficiência energética junto aos consumidores. Já existem diversas tecnologias eficientes disponíveis que, no entanto, possuem dificuldades de disseminação em larga escala na substituição das tecnologias e práticas convencionais. Estudar e desenvolver modelos de negócio que possibilitem a valoração econômica da eficiência energética e adequar a regulação e a legislação são elementos importantes nessa equação.

## TRÊS DESAFIOS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

1. Quantificar a economia energética e financeira associada com cada ação executada – pois os resultados líquidos podem ser modestos se comparados com a variabilidade no consumo de energia, exigindo acompanhamento de longo prazo;
2. Definir estratégias para acelerar a disseminação em larga escala de tecnologias, processos e utilização mais eficiente de energia pelos usuários, envolvendo as áreas de ciências naturais, ciências sociais aplicadas e economia;
3. Conscientizar os consumidores sobre a energia, suas fontes e seus impactos, de modo a promover o uso mais eficiente possível.

Há, ainda, lacunas de conhecimento relacionadas ao desempenho energético real dos equipamentos, veículos e edificações, além do papel do comportamento e das preferências dos usuários no consumo de energia. As seguintes áreas de pesquisa multidisciplinar serão importantes para o país nos próximos anos:

# 1

---

Avaliar os impactos técnicos e econômicos de tecnologias mais eficientes, como iluminação por LED, aquecimento de água, sistemas de ventilação e ar condicionado;

# 2

---

Avaliar os impactos das tecnologias de eficiência energética nas concessionárias, incluindo infraestrutura e custos, assim como nas tarifas dos consumidores;

# 3

---

Desenvolver formas de melhorar a eficiência energética no setor residencial, público e de pequenas e médias empresas, podendo incluir instrumentos como leilões de eficiência energética, contratos de desempenho, normas e padrões mínimos de eficiência, incentivos fiscais e tributários;

# 4

---

Desenvolver técnicas para melhorar a eficiência nos transportes, investigando o papel futuro de veículos elétricos e híbridos, os impactos na curva de carga elétrica e na infraestrutura das distribuidoras e os reflexos tarifários para todos os consumidores;

# 5

---

Desenvolver métodos efetivos para disseminar informação e alterar o comportamento do consumidor frente aos programas de eficiência energética.

Neste capítulo, a ABC procurou identificar os principais desafios científicos e tecnológicos que devem ser enfrentados para preservar as características essenciais da matriz energética nacional: autossuficiência e sustentabilidade. Trata-se de uma área certamente estratégica, em que o Brasil tem potencial para melhorar grandemente seu desempenho.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

EDENHOFER, O. et al. (Eds.). **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge / New York: Cambridge University Press, 2014.

GIROD, B.; STUCKI, T.; WOERTER, M.. How do policies for efficient energy use in the household sector induce energy-efficiency innovation? An evaluation of European countries. **Energy Policy**, [s.l.], v. 103, p. 223-237, abr. 2017. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.054>>.

NUCLEAR ENERGY AGENCY; INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Technology Roadmap: Nuclear Energy**. Paris: OECD/IEA and OECD/NEA, 2015. 64 p. Disponível em: <[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Nuclear\\_RM\\_2015\\_FINAL\\_WEB\\_Sept\\_2015\\_V3.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Nuclear_RM_2015_FINAL_WEB_Sept_2015_V3.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2018.

PIMENTEL, E. T.; HAMZA, V. M.. Use of geothermal methods in outlining deep groundwater flow systems in Paleozoic interior basins of Brazil. **Hydrogeology Journal**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.107-128, 23 nov. 2013. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10040-013-1074-0>>.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables 2016: Global Status Report**. Paris: REN21, 2016. 272 p. Disponível em: <[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR\\_2016\\_Full\\_Report\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/05/GSR_2016_Full_Report_lowres.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2018.

WORRELL, E. et al. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. **Energy Efficiency**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.109-123, 30 nov. 2008. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s12053-008-9032-8>>.

---

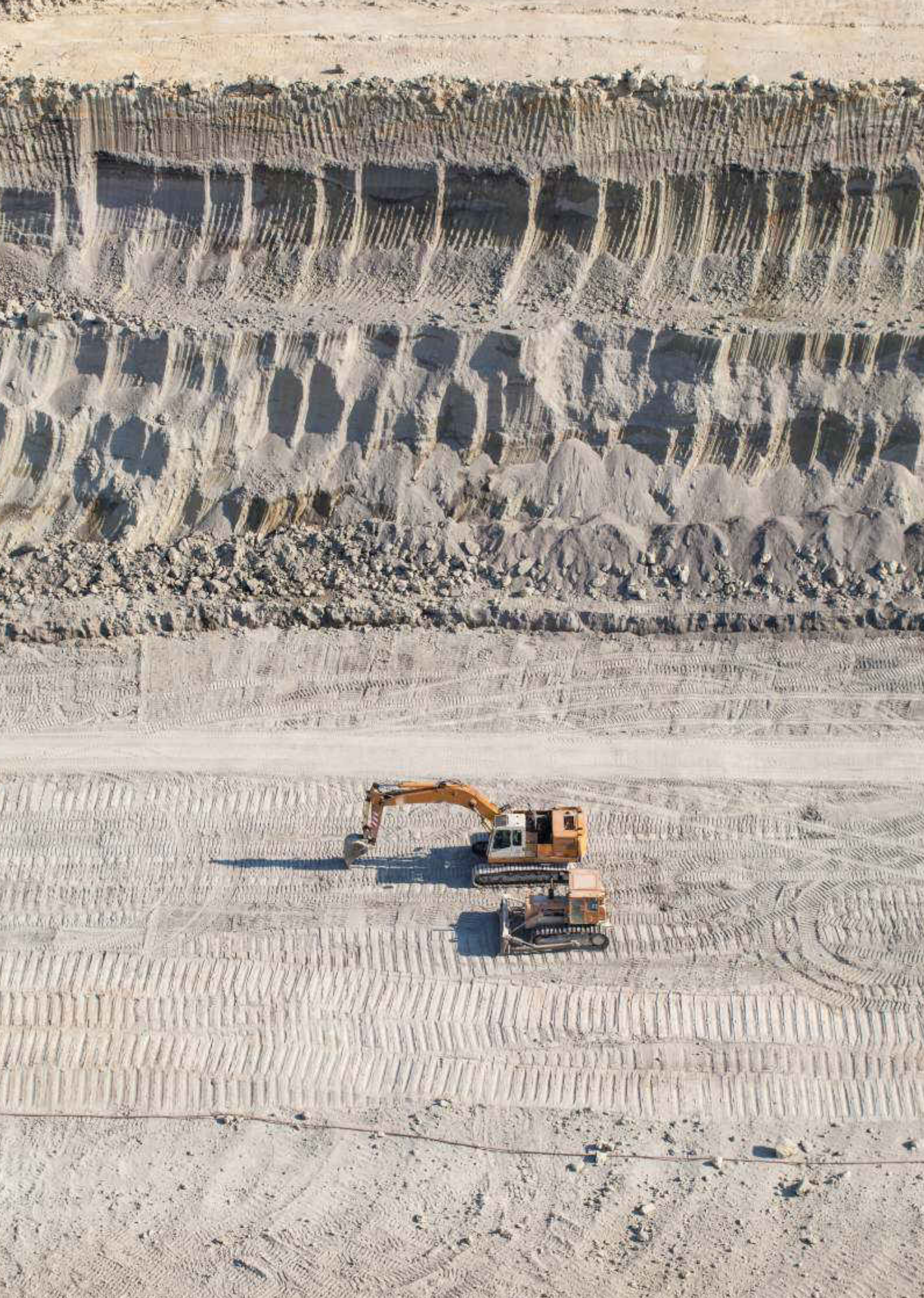
[1] Saiba mais sobre os projetos na página do instituto:  
<<http://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>>.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key world energy statistics**. Paris: IEA, 2017. 97 p. Disponível em:  
<<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2017.pdf>>.  
Acesso em: 13 abr. 2018.
- [ii] ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em:  
<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>.  
>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [iii] NOVACANA.COM. **A evolução da produtividade da cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/estudos/a-evolucao-da-produtividade-da-cana-de-acucar-160813/>>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [iv] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2026**. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2017. 271 p. Disponível em:  
<<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [v] TUNDISI, J. G. et al. How many more dams in the Amazon? **Energy Policy**, [s.l.], v. 74, p.703-708, nov. 2014. Elsevier BV.  
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.013>>.
- [vi] VISCHI FILHO, O. J.. **Indicadores físicos e mecânicos do solo sob cultivo de cana-de-açúcar em áreas comerciais**. 2014. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em:  
<<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257135>>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- [vii] RAMOS, C. R. G.. **Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora**. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agronomia (Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2013. Disponível em:  
<[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90618/ramos\\_crg\\_me\\_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90618/ramos_crg_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 26 mar. 2018.

- 
- [viii] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. OECD. **Bioenergy Project Development & Biomass Supply**. Paris: IEA/ OECD, 2007. 66 p. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biomass.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- [ix] SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo. Estado de São Paulo. **Prefeito coloca São Paulo em posição de vanguarda ao entregar primeira frota de ônibus a etanol das Américas**. 2011. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/comunicacao/releases/?p=141507>>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- [x] **BOLETIM MENSAL DE GERAÇÃO EÓLICA**. [s.l.]: Operador Nacional do Sistema Elétrico, ago. 2017. Mensal. Disponível em: <[http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim\\_Eolica\\_ago-2017.pdf](http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Boletim_Eolica_ago-2017.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [xi] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Dados mensais**: Outubro de 2017. 2017. Disponível em: <<http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/10/Dados-Mensais-ABEEolica-10.2017.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [xii] BABARIT, A. et al. Numerical benchmarking study of a selection of wave energy converters. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 41, p.44-63, maio 2012. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.002>>.
- [xiii] FORBUSH, D. et al. Performance characterization of a cross-flow hydrokinetic turbine in sheared inflow. **International Journal Of Marine Energy**, [s.l.], v. 16, p.150-161, dez. 2016. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijome.2016.06.001>>.
- [xiv] EDENHOFER, O. et al (Eds.). **Renewable energy sources and climate change mitigation**: summary for policymakers and technical summary. [s.l.]: Ipcc, 2012. 246 p. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [xv] SMITH, P. et al. Biophysical and economic limits to negative CO<sub>2</sub> emissions. **Nature Climate Change**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.42-50, 7 dez. 2015. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2870>>.

- 
- [xvi] PACCA, S.; MOREIRA, J. R.. Historical carbon budget of the brazilian ethanol program. **Energy Policy**, [s.l.], v. 37, n. 11, p.4863-4873, nov. 2009. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.072>>.
- [xvii] HYDROGEN COUNCIL. **How hydrogen empowers the energy transition**. [s.l]: Hydrogen Europe, 2017. 28 p. Disponível em: <<https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2017/01/20170109-HYDROGEN-COUNCIL-Vision-document-FINAL-HR.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [xviii] LARIN, N. et al. Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia. **Natural Resources Research**, [s.l.], v. 24, n. 3, p.369-383, 15 nov. 2014. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5>>.
- [xix] TASSINARI, C.C.G.; RICCOMINI, C.; TAIOLI, F.. Gás Não Convencional: uma alternativa energética possível para o Brasil. In: MELFI, A. J. et al (Orgs.). **Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 332 – 339.
- [xx] BROWN, L. R. et al. The Great Transition: Shifting from Fossil Fuels to Solar and Wind Energy Supporting Data - Geothermal Energy. In: BROWN, L. R. et al. **The Great Transition: Shifting from Fossil Fuels to Solar and Wind Energy**. New York: W.W. Norton & Company, 2015. Disponível em: <[http://www.earth-policy.org/datacenter/pdf/book\\_tgt\\_geothermal\\_all.pdf](http://www.earth-policy.org/datacenter/pdf/book_tgt_geothermal_all.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- [xxi] HAMZA, V. M. et al. Mapas Geotermais do Brasil. In: BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas Nacional do Brasil**. Brasília: IBGE, 2010. Cap. 4. Disponível em: <[https://www.ibge.gov.br/apps/atlas\\_nacional/](https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/)>. Acesso em: 26 mar. 2018.
- [xxii] NOURAI, A.; SCHAFER, C.. Changing the electricity game. **IEEE Power And Energy Magazine**, [s.l.], v. 7, n. 4, p.42-47, jul. 2009. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <<http://dx.doi.org/10.1109/mpe.2009.932875>>.





---

# 11

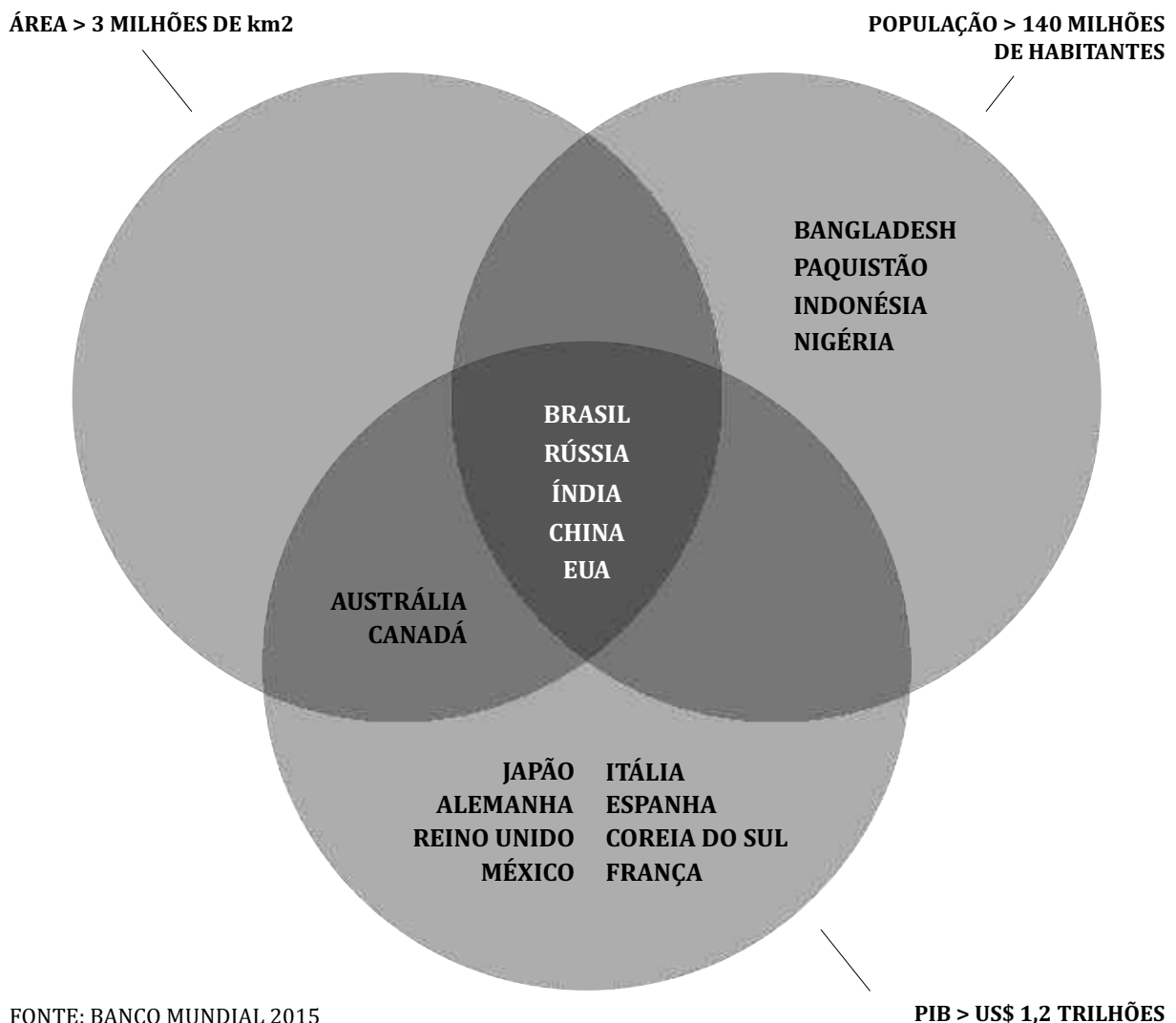
## VALORIZAÇÃO DOS RECURSOS MINERAIS

---

BRASIL PRECISA DEIXAR DE EXPORTAR APENAS  
*COMMODITIES* PARA SE TORNAR TAMBÉM  
EXPORTADOR DE PRODUTOS DE BASE MINERAL  
COM ALTO VALOR AGREGADO

**A** mineração está presente em muitos aspectos do dia a dia de todas as pessoas: de materiais usados para pavimentar ruas e construir prédios àqueles utilizados na fabricação de joias, celulares e outros aparelhos eletrônicos, há produtos minerais espalhados por toda parte. Por isso, os recursos minerais são imprescindíveis para o desenvolvimento econômico e social de qualquer nação. No Brasil, economia e mineração caminham juntas desde o período colonial, quando a extração de ouro atraiu a atenção dos portugueses e fomentou o desenvolvimento de várias cidades.

Atualmente, o Brasil está entre os seis países com maior potencial mineral do mundo, ficando ao lado do Canadá, dos Estados Unidos e da Austrália graças à sua grande área territorial, associada a uma enorme diversidade de ambientes geológicos.



Juntas, as atividades de mineração (sem petróleo e gás) e a indústria da transformação mineral são responsáveis por cerca de 4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e, apresentando saldo comercial sempre positivo, respondem por cerca de 20% das exportações. As exportações da mineração corresponderam a 11% do resultado total em 2017, destacando-se o minério de ferro como principal produto exportado.<sup>[i]</sup>



No entanto, é importante lembrar que o baixo grau de agregação de valor na cadeia mineração-metalurgia-produto faz do Brasil um exportador de *commodities*, que são muito sujeitas às variações cíclicas do mercado internacional. Para reduzir sua vulnerabilidade, o país precisa se tornar exportador de produtos minerais industrializados. Mais do que isso, tem potencial para assumir um papel de liderança global no desenvolvimento de tecnologias neste setor e, em longo prazo, estabelecer-se como um exportador de tecnologia mineral, a exemplo de países como a Suécia e a Finlândia (que já foram produtores minerais importantes), assim como a Austrália que, além de ser um importante produtor mineral, tem se destacado também no desenvolvimento e na exportação de tecnologias. Obviamente, para que isso seja possível, são necessários investimentos em ciência, tecnologia e inovação para o setor mineral. A seguir, destacam-se alguns temas prioritários de pesquisa na área.

PRINCIPAIS MINAS BRASILEIRAS



-  **Alumínio:** São Lourenço (MG), Juriti (PA), Oriximiná (PA), Paragominas (PA), Itamarati de Minas (MG)
-  **Carvão mineral:** Criciúma (SC), Candiota (RS)
-  **Cobre:** Chapada (GO), Sossego (PA), Salobo (PA), Carajás (BA)
-  **Crisotila:** Cana Brava (GO)
-  **Cromita:** Campo Formoso (BA) e Jacuricé (BA)
-  **Estanho:** Bom Futuro (RO), Massangana (RO), São Lourenço (RO)
-  **Ferro:** Quadrilátero Ferrífero (MG), Canaã dos Carajás (PA)
-  **Fosfato:** MCT (MG), Lagamar (MG), Irecê (BA), Catalão (GO), Ouidor (GO), Cajati (SP).
-  **Grafita natural:** Tijuco Preto (MG), Imidia (BA), Mina da Paca (MG), Zé Crioulo (MG)
-  **Magnesita:** Brumado (BA)
-  **Manganês:** Azul (PA), Lucas (MG), Urucum (MS), Comin (MS), Buritirama (PA), Morro da Mina (MG)
-  **Nióbio:** Barreiro (MG), Boa Vista (GO)
-  **Níquel:** Itagibá (BA), Buriti (GO), Barro Alto (GO), Niquelândia (GO), Onça-Puma (PA)
-  **Ouro:** Fazenda Nova (GO), Aurizona (MA), Jacobina (BA), Morro do Ouro (GO), Pedra Branca do Amapari (AP), Crixás (GO), São Vicente (MT), São Francisco (MT), Santa Bárbara (MG), Sabará (MG), Cocais (MG), Caeté (MG).
-  **Potássio:** Taquari/Vassouras (SE).
-  **Tântalo:** Presidente Figueiredo (AM)
-  **Vanádio:** Maracás (BA)
-  **Vermiculita:** São Luis de Montes Belos (GO)
-  **Zinco:** Vazante (MG), Morro Agudo (MG)

# O PAPEL DA CIÊNCIA NA DESCOBERTA DE DEPÓSITOS MINERAIS

A descoberta de um depósito mineral não se constitui uma tarefa simples, não só pela sua raridade, mas porque o depósito ou concentração mineral resulta de uma enorme diversidade de complexos processos geológicos. Trata-se de uma anomalia da natureza e a sua localização, na maioria das vezes, encontra-se em profundidade. Metodologia científica e técnicas inovadoras são sempre necessárias em todas as etapas da exploração mineral. Nos países onde existe aproveitamento econômico dos recursos minerais, a exploração mineral ou pesquisa mineral é realizada por instituições governamentais e por empresas privadas, com apoio de pesquisadores, laboratórios e centros de pesquisa das universidades, aptos a desenvolver modelos metalogenéticos (ou de depósitos minerais) com bases científicas consistentes.

## ETAPAS DA EXPLORAÇÃO MINERAL<sup>[ii]</sup>

**Elaboração de um programa**  
*Modelo metalogenético e modelo exploratório*

**Reconhecimento regional**  
*Revisão dos modelos e seleção de alvos*

**Trabalhos de detalhe**  
*Validação dos alvos*

**Avaliação de cada alvo**

**Viabilidade econômica**  
*Pré-produção*

Cabe às empresas de mineração, principalmente, o papel da descoberta de depósitos minerais economicamente viáveis e a colocação dos mesmos em produção. Nesse processo, elas utilizam dados disponibilizados pelas instituições governamentais e pelo meio acadêmico e investem recursos para o desenvolvimento de modelos exploratórios que permitam a redução de custos no dimensionamento das reservas e no estabelecimento de sua viabilidade econômica.

Para o desenvolvimento de modelos metalogenéticos e exploratórios, as empresas utilizam o conhecimento científico desenvolvido no meio acadêmico – notadamente, nos centros de pesquisa e nos laboratórios especializados localizados nas universidades. No Brasil, o Serviço Geológico (ainda conhecido pelo acrônimo CPRM, de Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME), encarrega-se dos levantamentos regionais, incluindo mapeamentos geológicos, geoquímicos e aerogeofísicos, sensoriamento remoto e outros, além da guarda e da manutenção desses dados para disponibilização pública. A CPRM também produz informações necessárias à promoção do uso sustentável dos recursos minerais.



Paralelamente, alguns poucos estados mantêm estruturas ou instituições governamentais voltadas para a produção de dados visando ao desenvolvimento do setor mineral no seu território. É o caso, por exemplo, da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) e da Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Codemig), antiga Metais de Minas Gerais S.A (Metamig). Instituições como essas têm atuado, em maior ou menor grau e ao longo de vários anos, em colaboração com os grupos de pesquisa e laboratórios das universidades locais.

No meio acadêmico, existem quase 80 grupos de pesquisa científica da área de geociências certificados no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), dos quais 19 atuam em linhas de pesquisa diretamente relacionadas ao desenvolvimento de modelos metalogenéticos e exploratórios. Existem, ainda, diversos laboratórios especializados, localizados principalmente nas universidades e utilizados pelos pesquisadores desses grupos de pesquisa, bem como pelas instituições governamentais e pelas empresas.

Os serviços geológicos e algumas empresas, principalmente as de maior porte, costumam liberar técnicos para fazer pós-graduação ou para cursar disciplinas em cursos de extensão promovidos pelas universidades ou participar dos programas de pós-graduação, como alunos especiais. Além disso, empresas e instituições governamentais ligadas ao setor mineral convidam pesquisadores de instituições acadêmicas para que ministrem internamente cursos de curta duração.

## 5 LIMITAÇÕES PARA O SETOR DE MINERAÇÃO NO BRASIL

**Há pouco conhecimento geológico do território nacional e das províncias minerais do país.** Esse conhecimento é insuficiente para orientar a prospecção mineral em território brasileiro.<sup>[iii]</sup>

Outros países, como Canadá, Austrália e África do Sul, têm suas províncias minerais e distritos mineiros mapeados com precisão e investem muito mais na produção desse tipo de conhecimento.

**Investe-se pouco em tecnologia mineral.** O orçamento anual do Cetem, principal instituição de tecnologia mineral, embora tenha melhorado de forma significativa em 2017, com a destinação de 1,8% dos *royalties* da mineração, ainda é muito inferior aos



centros tecnológicos dos setores elétrico (Cepel), agropecuário (Embrapa) e de petróleo e gás (Cenpes). É flagrante a falta de correspondência entre a importância do setor mineral para o país e os recursos destinados ao seu desenvolvimento tecnológico e inovação. Esse descompasso tem como consequência o fato de o Brasil permanecer, ainda hoje, um exportador de *commodities*, em vez de produtos minerais de alto valor agregado. As empresas de mineração, em geral, ainda investem pouco em pesquisa e inovação.

**O apoio à infraestrutura laboratorial e à formação de recursos humanos em universidades e centros de pesquisa é intermitente.** Embora tenha havido investimentos maciços nessa área entre 2004 e 2014, incluindo esforços para a formação de recursos humanos na pós-graduação,<sup>[iv]</sup> a descontinuidade desse apoio, os excessivos procedimentos burocráticos exigidos e, principalmente, a falta de recursos para manutenção dos laboratórios criados e para a criação de novos têm prejudicado o desenvolvimento de pesquisas em cooperação com as instituições governamentais ligadas ao setor mineral e com as empresas de exploração mineral e de mineração.

**Profissionais altamente qualificados não são inseridos no mercado.** Um percentual muito baixo de profissionais com pós-graduação é aproveitado no setor. Apenas 1,3% dos mestres e 0,6% dos doutores formados em programas de pós-graduação em 2010 e relacionados à indústria extrativa e de transformação mineral foram absorvidos, e esse cenário não parece ter mudado desde então.<sup>[v]</sup> Dados como este confirmam que o setor mineral brasileiro é pouco dinâmico no que diz respeito a pesquisa, inovação e desenvolvimento, o que seria fundamental para mudar a posição brasileira nas cadeias globais de valor.

**Academia e indústria não interagem.** Diferentemente do que acontece em outros países com grande potencial mineral, no Brasil, os meios acadêmico e produtivo têm pouca interação. Embora haja algumas experiências positivas nesse sentido, é preciso ampliar a comunicação entre esses setores.

# TECNOLOGIA MINERAL E INOVAÇÃO

O aproveitamento econômico dos depósitos minerais depende, entre outros fatores, do desenvolvimento de tecnologias específicas para cada caso, que permitam, por exemplo, a extração dos seus elementos químicos de modo eficiente e sustentável para serem usados na indústria. Grandes empresas que atuam no país, sejam elas nacionais ou estrangeiras, certamente adotam, ou adotarão no futuro, as melhores tecnologias disponíveis para sua área de atuação. No entanto, constata-se que a maioria dessas tecnologias é desenvolvida fora do Brasil.<sup>[vi]</sup>

A situação das micro, pequenas e médias mineradoras, que representam mais de 80% do universo de empresas atuantes no país, é diferente. Elas enfrentam o desafio de aprimorar seus processos produtivos e lidar com questões ambientais e de gestão empresarial,<sup>[vii]</sup> o que abre oportunidade para a inovação também no âmbito nacional.

Na área de pesquisa e desenvolvimento, o Brasil possui departamentos universitários de engenharia de minas, metalurgia e materiais bem conceituados, e alguns institutos de pesquisa relativamente bem consolidados nos tópicos que constituem a tecnologia mineral, destacando-se o Centro de Tecnologia Mineral (Cetem), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), único instituto público com foco em tecnologia mineral.

O mesmo Ministério opera, desde 2000, um fundo setorial de recursos minerais (CT-Mineral), que recebia 2% dos *royalties* da mineração. A Lei 13.540, de 18 de dezembro de 2017, mudou a distribuição dos *royalties*, atribuindo 1% ao CT-Mineral e 1,8% ao Cetem. Esses 2,8% devem corresponder, em 2018, a algo em torno de R\$ 90 milhões. Apesar da importante mudança, especialmente quanto ao fortalecimento do Cetem, os recursos são ainda insuficientes para as necessidades de ciência, tecnologia e inovação do setor. Com efeito, trata-se de recurso muito inferior àqueles dos fundos setoriais geridos pelo MCTIC e dedicados a outros setores econômicos com base nos recursos naturais, como petróleo e gás (R\$ 1 bilhão), energia elétrica (R\$ 300 milhões) e agropecuária (R\$ 130 milhões). De qualquer modo, o contingenciamento que prevalece nos últimos anos tem esterilizado os aportes para ciência, tecnologia e inovação em diferentes áreas.

---

Entre os temas desafiadores da prática da mineração global que requerem novos desenvolvimentos tecnológicos, destacam-se a lavra mineral em grandes profundidades, o aproveitamento econômico de depósitos minerais (especialmente os metálicos) com teores mais baixos e mais impurezas e a mineração em locais remotos. De uma maneira geral, todos esses desafios correspondem a maior demanda por água e energia para a produção final – a inovação tecnológica tem, portanto, o papel de melhorar a competitividade das empresas com sustentabilidade.

Especificamente no caso brasileiro, um aspecto em que a pesquisa científica poderia trazer importante contribuição para o desenvolvimento de tecnologias e para a economia é a caracterização de depósitos minerais de superfície ou lateríticos. No Brasil, graças ao clima, as rochas e os minerais primários nelas contidos estão em boa parte recobertos por um espesso manto de alteração que, em alguns casos, proporciona concentração ou reconcentração dos depósitos minerais primários, permitindo a formação de depósitos economicamente viáveis para extração ou lavra. O conhecimento científico do funcionamento do sistema solo em cada caso é fundamental para a exploração mineral.

Além dos desafios próprios do setor, a mineração enfrenta também o desafio da modernização da indústria em geral, em face das novas tecnologias que estão se disseminando. A denominada Indústria 4.0 compreende um sistema sofisticado de produção, que se caracteriza pela maior integração entre máquinas e operadores. Para tanto, são fundamentais os avanços científicos e tecnológicos que levem ao desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação embarcadas nas máquinas, incluindo aspectos como automação, robótica, Internet das Coisas, *big data*, manufatura avançada (impressão 3D), sensores e operação remota, entre outras inovações que levarão à Mineração 4.0.

As inovações tecnológicas em todas as etapas da produção mineral parecem ser uma tendência irreversível, com efeitos positivos também sobre a sustentabilidade do projeto mineiro, em decorrência do melhor controle ambiental, incluindo cuidado com os efluentes e maior segurança operacional. Com esses recursos, pode-se otimizar toda a operação dos equipamentos, com ganhos em eficiência e agilidade e resultados como melhor qualidade, menor custo de operação e manutenção e maior produtividade.

As mesmas considerações sobre inovação aplicam-se à metalurgia extrativa, que engloba os vários processos para produção de metais e elementos não metálicos de interesse industrial, a partir de seus minérios e concentrados minerais.

Por fim, outro desafio importante para a indústria mineradora no Brasil é mudar a percepção negativa que a sociedade em geral tem da atividade de mineração. Não se trata de simples questão de *marketing* – ao contrário, cabe à indústria demonstrar com estudos e evidências que os benefícios da mineração superam os inevitáveis impactos inerentes à atividade. A interação das empresas com a comunidade local em bases mutuamente favoráveis deve ser um objetivo permanente, e a chamada “licença social para operar” talvez seja um dos maiores desafios da indústria de mineração, atualmente e no futuro.

## SETOR MINERAL E DESENVOLVIMENTO NACIONAL

Recentemente, o MCTIC divulgou o documento *Estratégia Nacional para Ciência, Tecnologia e Inovação* (ENCTI 2016-2022).<sup>[viii]</sup> São listados nesse documento tópicos ou desafios que demandam soluções, e alguns deles têm relação com o aproveitamento de recursos minerais.

Embora seja clara a relação entre o setor mineral e alguns dos 12 temas estratégicos, infelizmente muito pouco espaço foi dado ao conhecimento científico da área. A única exceção é o setor de petróleo e gás, que vem sendo bem atendido (e deve continuar a ser). Para o restante do setor mineral, o documento do MCTIC considerou apenas a agregação de valor aos bens minerais tidos como estratégicos, dos quais são destacados somente os agrominerais, o carvão mineral, as terras raras, o silício e o lítio. A ABC acredita, no entanto, que há muitas outras soluções a serem encontradas com relação ao setor mineral. São temas estratégicos para o desenvolvimento, a autonomia e a soberania nacionais que dependem de investimentos em ciência, tecnologia e inovação:

---

# 1

---

Realizar o mapeamento geológico das províncias minerais e dos distritos mineiros, com apoio de tecnologias avançadas de sensoriamento remoto, análise espectral, levantamentos geofísicos e geoquímicos;

# 2

---

Desenvolver modelos de depósitos minerais (modelos metalogenéticos) com bases científicas solidamente construídas a partir de dados de observações de campo, levantamentos geofísicos regionais e de detalhe, além de análises laboratoriais, a fim de dar suporte aos modelos exploratórios a serem desenvolvidos pelas empresas. Foco maior deve ser dado ao estudo dos bens minerais necessários ao setor agropecuário (fosfato e potássio), assim como às terras raras e a outros minerais ainda importados pelo Brasil;

# 3

---

Adaptar geotecnologias avançadas já existentes e criar novas tecnologias que permitam integração e análise interpretativa de dados geológicos, geoquímicos e geofísicos em espaço tridimensional, em diversas escalas;

# 4

---

Aprofundar os estudos operacionais para a lavra mineral, de modo a possibilitar a construção de programas adaptados à realidade nacional para o gerenciamento de equipamentos de carregamento e transporte, aplicados à lavra a céu aberto e em subsolo;

# 5

---

Incentivar pesquisas na área de fragmentação de rochas, buscando otimizar os processos de desmonte de rochas e operações de cominuição (britagem e moagem);

# 6

---

Realizar estudos na área de mecânica de rochas envolvendo estabilidade de taludes a céu aberto e dimensionamento de vias subterrâneas, com desenvolvimento de equipamentos para monitoramento *online* de deformações e tensões, bem como pesquisa envolvendo estabilidade das barragens de rejeito, tema que ganhou importância recentemente;

# 7

---

Criar soluções para o aproveitamento ótimo dos recursos no beneficiamento de minérios, promovendo a sustentabilidade;

# 8

---

Otimizar as rotas de cominuição (britagem e moagem), com uso de novos equipamentos de eficiência energética e desenvolvimento de modelos e técnicas de caracterização específicas para moagem autógena e semi-autógena (moagem de minérios que faz uso dos fragmentos grossos do próprio minério);

# 9

---

Desenvolver modelos para o processo de flotação (principal técnica de concentração e enriquecimento de minérios), a fim de melhor prever o comportamento das partículas minerais na zona de coleta (onde ocorre o contato bolha-partícula mineral) e para o melhor entendimento dos fenômenos ocorridos na zona de espuma, de modo a aperfeiçoar as tecnologias existentes;

# 10

---

Pesquisar as etapas do processo de separação sólido-líquido, de crescente importância, já que os custos de disposição de rejeitos finos estão associados à obtenção de licenças ambientais para construção de barragens. Uma alternativa possível é a tecnologia de pastas (adensamento dos rejeitos) com espessadores de alta capacidade;

---

# 11

---

Pesquisar a modelagem e a simulação de processos hidrometalúrgicos, assim como investigar sistemas reacionais autocatalíticos para a lixiviação (solubilização) de minérios, incluindo o emprego de ferramentas de modelagem molecular;

# 12

---

Desenvolver reagentes mais seletivos para o processo de lixiviação de minérios complexos e pesquisar a utilização de tratamentos não-convencionais, como a aplicação de ultrassom ou micro-ondas;

# 13

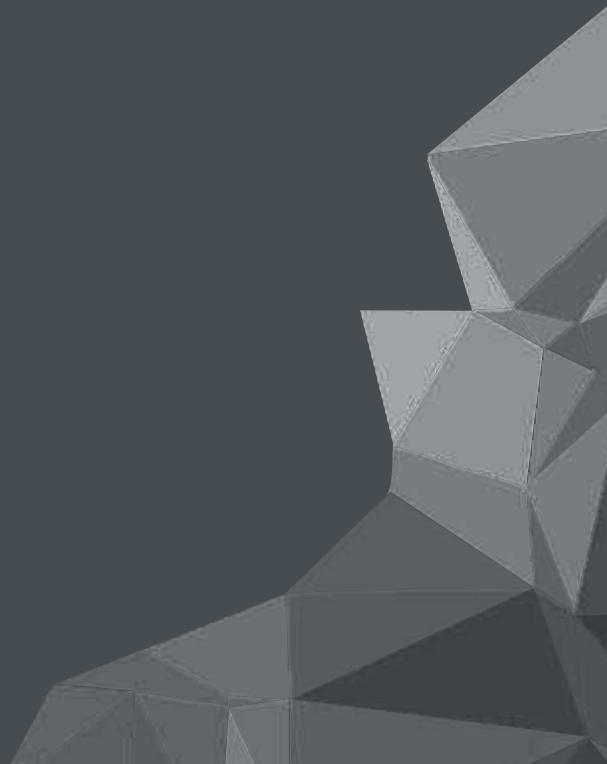
---

Estudar a utilização de misturas de extratantes e seus efeitos sinérgicos no processo de extração por solventes, usado, por exemplo, na separação seletiva de elementos de terras raras;

# 14

---

Intensificar as pesquisas em biometalurgia e sobre a interação mineral-micro-organismo para a solubilização de metais.



# SUORTE NECESSÁRIO À PESQUISA

Para que os temas acima destacados sejam, de fato, estudados em maior profundidade, levando ao avanço do conhecimento da ciência dos recursos minerais e a inovações na indústria do setor, é imprescindível a criação de editais para financiamento de projetos de pesquisa em assuntos estratégicos. O MCTIC, por meio de suas agências de fomento, e as fundações estaduais de amparo à pesquisa têm papel fundamental nesse processo.

Além disso, são necessários investimentos em manutenção e criação de laboratórios nas universidades, voltados a análises de isótopos estáveis e radiogênicos, análises químicas para elementos-traço, inclusões fluidas e microsonda eletrônica, entre outros. Esse pode ser um esforço combinado entre o MCTIC e o MME.

Outra área que precisa dar suporte ao desenvolvimento científico e tecnológico no setor mineral é a formação de recursos humanos. Para tal, sugere-se o fortalecimento de programas de pós-graduação que desenvolvem linhas de pesquisa na área mineral, além de estímulos à capacitação de recursos humanos em modelagem dos depósitos minerais e a criação dessa linha de pesquisa em outros programas. Também deve ser incentivada a criação de programas de extensão universitária, nos quais possam ser oferecidos cursos intensivos e condensados de interesse do setor mineral, de modo a permitir que profissionais de empresas participem. Muitas das disciplinas oferecidas durante esses programas de extensão poderão fazer parte dos programas de pós-graduação.

A promoção de intercâmbios internacionais também pode auxiliar tanto na formação de recursos humanos quanto no avanço das pesquisas. Por isso, é recomendável facilitar a vinda de pesquisadores e profissionais especializados de centros avançados no exterior, bem como a ida de pesquisadores brasileiros para períodos de intercâmbio nesses centros. Essa iniciativa pode incluir (mas não deve estar restrita a) bolsas de doutorado sanduíche.





Por fim, é fundamental promover parcerias para uma maior colaboração entre o meio acadêmico, as empresas e as instituições governamentais. Cabe ao MCTIC e ao MME promover essas parcerias, divulgando informações sobre laboratórios, centros de pesquisa e grupos de pesquisa qualificados que atuam na área mineral, e também estimulando e realizando reuniões entre dirigentes dessas instituições e pesquisadores.

A parceria das empresas de mineração e dos órgãos do governo com a academia precisa ser estimulada por meio de ações efetivas, que devem incluir contatos diretos do MCTIC, do MME e da própria ABC com as empresas e suas entidades representativas, no sentido de encontrar meios para eliminar desconfiâncias que muitas vezes partem, por um lado, de profissionais pouco informados atuando nas empresas e, por outro, de acadêmicos insensíveis aos valores e necessidades empresariais.

Nesse sentido, a Medida Provisória 790/2017, que não chegou a ser votada no Congresso e caducou, previa a obrigação de a empresa detentora de título de concessão de lavra investir pelo menos 0,5% de sua receita operacional líquida anual em pesquisa e desenvolvimento do setor mineral. A ABC apoia a retomada dessa iniciativa, considerada muito importante para a dinamização e a inovação da mineração no país. Vale registrar que empresas dos setores de petróleo e gás, de energia elétrica e de telecomunicações já são legalmente obrigadas a investir um percentual mínimo de sua receita em pesquisa, desenvolvimento e inovação.

SUGESTÃO PARA LEITURA

MELFI, A. J.; MISI, A.; CAMPOS, D. A.; CORDANI, U. G.. (Orgs.).  
**Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios.** Rio de  
Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. 420 p.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Sinopse mineração e transformação mineral. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/sinopse-mineracao-e-transformacao-mineral?\\_20\\_displayStyle=descriptive&p\\_p\\_id=20](http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes/sinopse-mineracao-e-transformacao-mineral?_20_displayStyle=descriptive&p_p_id=20)>. Acesso em: 06 maio 2018.
- [ii] BETTENCOURT, J. S.; JULIANI, C.; MONTEIRO, L. V.,. Exploração Mineral no Brasil: Uso de modelos de depósitos minerais e sistemas minerais. In: MELFI, A. J. et al (Orgs.). **Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 176-189.
- [iii] MARINI, O. J.. O Potencial Mineral do Brasil. In: MELFI, A. J. et al (Orgs.). **Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 18-31.
- [iv] MARINI, O. J. O Potencial Mineral do Brasil e sua realização. In: **Simpósio Recursos Minerais do Brasil: Problemas e Desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2013. p. 1-4.
- [v] NERY, M. A. C.; OLIVEIRA, M. P. P.. Formação de Recursos Humanos para a Mineração. In: MELFI, A. J. et al (Orgs.). **Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 396-403.
- [vi] LINS, F. A. F.. Tecnologia Mineral: Pesquisa, desenvolvimento e inovação. Panorama da mineração brasileira. In: MELFI, A. J. et al (Orgs.). **Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 244-247.
- [vii] LUZ, A. B.; LINS, F. A. F.. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: LUZ, A. B.; FRANÇA, S. C. A. (Eds). **Tratamento de Minérios**, 6ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM, 2017 (no prelo).
- [viii] BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Governo Federal. **Estratégia Nacional De Ciência, Tecnologia E Inovação 2016-2022: Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Econômico e Social**. Brasília: MCTIC, 2016. 136 p. Disponível em: <<https://portal.insta.gov.br/images/documentos-oficiais/ENCTI-MCTIC-2016-2022.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2018.



---

# 12

## ÁGUA EM FOCO

---

PROTEÇÃO E USO SUSTENTÁVEL  
DOS RECURSOS HÍDRICOS DEVEM SER  
PRIORITÁRIOS NO BRASIL

Segundo a Organização das Nações Unidas,<sup>[i]</sup> a agricultura moderna depende em cerca de 40% do processo de irrigação, uma prática que, se, por um lado, traz soluções para a atividade agrícola, por outro, gera problemas ambientais de difícil resolução, como a salinização dos solos. Até 2050, a população mundial deverá se aproximar de 10 bilhões de pessoas, dos quais cerca de dois terços estarão vivendo nas cidades e, para acompanhar esse crescimento, a agricultura global e as atividades industriais também deverão crescer, o que aumentará ainda mais o consumo de água.

Como se vê, a questão da água perpassa muitos outros temas discutidos neste livro, incluindo, por exemplo, as ciências do mar, a agricultura e a biodiversidade. Trata-se, de fato, de uma questão central para a busca do desenvolvimento sustentável no país. Neste capítulo, a ABC aprofunda alguns desafios relacionados ao aproveitamento de recursos hídricos.

Um ponto de partida interessante para essa reflexão são as discussões realizadas no contexto do 11º Colóquio Kovaks, que aconteceu em Paris em junho de 2014, com o tema “Ciências hidrológicas e segurança da água: passado, presente e futuro” (tradução livre). Pesquisadores brasileiros que estiveram presentes no evento<sup>[ii]</sup> elencaram algumas oportunidades e dificuldades na promoção da cooperação em pesquisa, desenvolvimento e inovação em temas centrais relacionados à água.

O primeiro tema elencado pelo grupo é a necessidade de manter registros de todos os fluxos de materiais no ar, na água e nos solos, bem como seus ciclos nos compartimentos orgânicos e inorgânicos, de modo a possibilitar a avaliação continuada dos problemas de qualidade de água. Atenção especial deve ser dada aos impactos do uso da terra sobre a qualidade da água na escala da bacia hidrográfica.

Além disso, a interação entre a qualidade da água e a saúde humana deve ser avaliada por meio de atividades científicas permanentes, que incluam estatísticas epidemiológicas e pesquisa experimental. A pesquisa de patógenos resistentes constitui um tópico fundamental para desenvolvimentos futuros, bem como a compreensão da relação entre poluentes orgânicos persistentes e seus impactos na saúde humana e na biodiversidade.<sup>[iii]</sup>



Implantar redes de competência em escala mundial, por meio da integração de laboratórios, é outra necessidade de pesquisa. Tais redes poderiam trabalhar, por exemplo, nas análises de risco e vulnerabilidade das populações humanas, na avaliação de situações de escassez ou deterioração da qualidade da água e na compreensão dos impactos das mudanças climáticas sobre a qualidade da água, três campos de pesquisa e manejo que precisam ser fortalecidos. Paralelamente, é necessário investir na educação e no treinamento de pessoas com uma abordagem sistêmica e interdisciplinar.

# RECURSOS HÍDRICOS E ECONOMIA

Além de seus aspectos ambientais e de saúde, a questão da água carrega, em si, aspectos econômicos. Muitas atividades humanas dependem da água e são afetadas por questões como disponibilidade e qualidade. Por outro lado, essas mesmas atividades têm impacto sobre a água, num ciclo vicioso. Na busca do desenvolvimento sustentável, é extremamente importante refletir sobre essas interações.

Como já apontado no **Capítulo 6**, a crescente demanda por água no setor agrícola é um desafio especialmente relevante. A agricultura moderna é fortemente dependente do seu suprimento de água da irrigação, o que, no longo prazo, trará como consequência a salinização da água e dos solos, um problema difícil de ser resolvido e com enorme impacto potencial sobre a biodiversidade.

Outra questão que merece atenção é a incorporação da água exportada ou água virtual ao preço final dos produtos. Trata-se da fração de água utilizada na produção do produto final a ser exportado – a soja, por exemplo –, que não é tradicionalmente computada no preço final desse produto. Atualmente, os Estados Unidos são o primeiro país do mundo em exportação de água, em quantidades que atingem 164 milhões de metros cúbicos ao ano.<sup>[iv]</sup> O Brasil se encontra em décimo lugar nesse *ranking*. Embora a economia tradicional não considere os serviços ecossistêmicos, é urgente ponderar que o preço dos produtos exportados pode não compensar os custos necessários para a recuperação das fontes de água e dos ecossistemas impactados para sua produção.





# ÁGUA NAS CIDADES

Estima-se que, em 2050, 68% da população mundial deverá estar vivendo em áreas urbanas e que, entre 2011 e 2050, o aumento estimado da população das cidades será de 2,5 bilhões de pessoas.<sup>[v]</sup> Assumindo-se que essa tendência é irreversível, é necessário investir na criação de cidades inteligentes e sustentáveis, como descrito no **Capítulo 8**. Esse processo passa por um uso mais consciente das bacias hidrográficas, com o auxílio de políticas que promovam o manejo integrado e atribuam valor ao funcionamento dos ecossistemas de água doce.<sup>[vi]</sup>

Uma governança pouco eficiente da água é fonte de sérios conflitos entre os setores produtivos e seus usuários. Por isso, a implementação do manejo integrado da bacia hidrográfica deve minimizar conflitos e assegurar o manejo holístico e sustentável de corpos d'água baseado em limites naturais. A adoção da abordagem da governança da água deverá garantir necessidades múltiplas da água nas escalas local, nacional e regional, além de promover a participação dos cidadãos e de grupos organizados da sociedade no processo de tomada de decisão.

Para criar cidades realmente sustentáveis, é preciso repensar as relações entre humanidade e natureza, de modo que as necessidades ambientais sejam prioritariamente preservadas e apenas a água remanescente seja compartilhada entre as sociedades para satisfazer as demandas humanas.<sup>[vii]</sup>

## O QUE É GOVERNANÇA DA ÁGUA?

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Governança da Água diz respeito ao conjunto dos sistemas político, social, econômico e administrativo que, direta ou indiretamente, afetam o uso, o desenvolvimento e o manejo dos recursos hídricos e a oferta dos serviços de água para a sociedade. O setor água é parte de um conjunto maior que engloba o desenvolvimento de ações sociais, políticas e econômicas e, por isso, é afetado por decisões externas. Saiba mais em: <<http://watergovernance.org>>

---

# DESAFIOS ATUAIS

Apesar de constituir um recurso universal e essencial para a vida, a água, numa escala global, tem sido tratada de formas distintas, o que constitui uma importante barreira para a cooperação internacional no tema. Existem diferentes maneiras de se enxergar este recurso, e só muito recentemente acordou-se que se trata de algo finito. Em alguns países, a água é vista como um bem privado; em outros, é considerada um recurso do Estado e, como tal, não passível de privatização. O Brasil é um exemplo desta última situação, conforme consolidado pela Lei das Águas (Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997).

No entanto, mesmo dentro da realidade brasileira há controvérsias acerca da condução do setor de águas. Por exemplo, o segmento da água mineral é, atualmente, privado e controlado pelo setor mineral, que também controla a exploração de minerais com permissão específica para tal – o direito de lavra. O mercado de água mineral é, portanto, regido por normas específicas da exploração mineral, visando à oferta de um bem de consumo com alto valor agregado, o que a torna um recurso natural altamente precificado, diferentemente da água comum, natural, que só recentemente passou a ter um valor agregado naquelas bacias onde já se cobra pelo uso deste recurso e não apenas pelo seu tratamento. Assim, a questão da água mineral se tornou um tema sensível, para o qual existem empresas internacionais fortes disputando o mercado mundial.

Outro tema relevante é o pagamento pelo uso dos recursos hídricos. No Brasil, exceto para as bacias hidrográficas dos rios Paraíba do Sul, Piracicaba, Jundiaí, Capivarí, São Francisco e Doce – nas quais foi implementado o pagamento pelos usos da água –, somente se paga pelo tratamento da água para abastecimento público, mas não pela água propriamente dita. No caso das seis bacias onde o pagamento pela água já foi estabelecido, a atividade rendeu, no ano de 2012, R\$73,8 milhões, que devem ser usados em medidas de restauração dentro das próprias bacias.<sup>[viii]</sup>

O tratamento da água e do esgoto também representa um desafio, particularmente nos países em desenvolvimento, onde se investe muito pouco nessa área. A constante busca por novas fontes de água para atender demandas das atividades econômicas resulta num ciclo vicioso – dentro do setor agrícola, por exemplo, para permitir novas áreas para plantações, utiliza-se mais e mais água, e mais e mais água degradada ou poluída é produzida e lançada nos cursos d'água naturais. Além da consequente salinização, a água advinda das áreas agrícolas leva para os cursos d'água o excesso de produtos químicos utilizados nas plantações e, assim, polui outras áreas.

# PROPOSTAS PARA UMA AGENDA DE PESQUISA

Considerando as questões apresentadas acima, alguns desafios para os quais a ciência precisa encontrar soluções são:

## 1

---

Aumentar a eficiência do uso da água na agricultura. Possíveis estratégias para isso incluem a redução do consumo de água pelo uso de novas abordagens, como a irrigação por gotejamento e/ou a irrigação subterrânea, em substituição ao uso do pivô central. Segundo a Escola da Ciência da Água do Serviço Geológico dos Estados Unidos,<sup>[ix]</sup> tais práticas podem reduzir em até 95% o consumo de água do setor;

## 2

---

Adotar a abordagem da Governança da Água, em substituição às práticas atuais de manejo;

## 3

---

Incrementar o reuso e as iniciativas de reciclagem de água. Nesse contexto, é importante que as políticas públicas, embasadas cientificamente, proponham ações na área de educação, remoção de barreiras, adoção de incentivos, concessões e regulações,<sup>[x]</sup>

---

# 4

---

Incrementar práticas de saneamento básico, notadamente estações de tratamento de esgotos de nível terciário, juntamente com novas abordagens e tecnologias para tratar poluentes orgânicos persistentes (POPs) como hormônios, antibióticos e vírus. Estima-se que, para realizar esta tarefa, sejam necessários recursos da ordem de R\$ 10 bilhões ao ano por 20 anos consecutivos<sup>[xi]</sup> – porém, manter o atual déficit de água e saneamento básico custa nove vezes mais do que isso!

---

# 5

---

Investir na restauração de ecossistemas aquáticos degradados e na proteção das bacias hidrográficas; aumentando quantidade e qualidade da água por meio da implementação de tecnologias ecohidrológicas;<sup>[xii]</sup>

---

# 6

---

Investir na avaliação e no monitoramento da biodiversidade aquática, bem como no seu uso sustentável;

---

# 7

---

Desenvolver ecotecnologias para salvar, tratar e proteger ecossistemas aquáticos e sua biodiversidade, com atenção especial ao setor da agricultura, o maior consumidor de água em escala mundial;

# 8

---

Aperfeiçoar a mensuração e a modelagem de fluxos ambientais (*eFlows*) necessários para assegurar as necessidades humanas e a integridade dos ecossistemas;<sup>[xiii, xiv]</sup>

# 9

---

Implementar a valorização e o pagamento pelos serviços ecossistêmicos, em especial os serviços ecossistêmicos da água doce, dos quais depende toda a humanidade – a única forma de reverter as tendências atuais de perdas e degradação da água doce é valorar esses ecossistemas e o fluxo de seus serviços, considerando esses valores na tomada de decisões econômicas;

# 10

---

Investir em avaliação e garantia de acesso livre a bancos de dados para permitir avaliações precisas da disponibilidade e da qualidade de água para os distintos territórios;

# 11

---

Conectar as bases de dados existentes sobre a disponibilidade e o uso da água, fornecendo subsídios para pesquisa e inovação, bem como para a formação de pessoal em todos os níveis.

Para que essas e outras propostas sejam desenvolvidas, é necessário haver modelos de financiamento adequados para o setor de pesquisa, desenvolvimento e inovação, incluindo arranjos de financiamento internacional para apoiar a criação ou consolidação de grupos dedicados à questão da água. Iniciativas como o Fundo Newton, do Reino Unido,<sup>[1]</sup> e o Horizon 2020,<sup>[2]</sup> da União Europeia, são exemplos importantes de alternativas que devem ser melhor exploradas para os temas da água – o Conselho Nacional das Fundações de Amparo à Pesquisa (Confap) participa de ambos.

## REUSO DE ÁGUA NO BRASIL

Um exemplo emblemático é o projeto São Paulo - Aquapolo Ambiental, iniciativa conjunta de reúso da água lançada em novembro de 2012 pela Foz do Brasil (Odebrecht) e pela Sabesp, que fornece água e tratamento de esgotos para uso residencial, comercial e industrial no estado. O projeto, iniciado para reduzir o consumo de água potável em São Paulo, é hoje a maior iniciativa de reúso de água industrial do hemisfério sul. O custo da água tratada é mais baixo do que o da água potável e, portanto, muito atraente para a indústria. Aquapolo deverá fornecer água para a indústria petroquímica da região do ABC paulista, conservando água suficiente para fornecimento contínuo de 300 mil pessoas. De forma complementar, a Sabesp lançou, em 2014, projetos indiretos de reúso de água potável.

# EDUCAR PARA O USO DA ÁGUA

Considerando que a água é um recurso finito absolutamente necessário para todas as formas de vida, tem uma distribuição muito desigual e tem sido consistentemente degradada em escala global, especialmente devido ao aumento constante no consumo, é imprescindível educar as pessoas para entender as distintas facetas do ciclo da água e, principalmente, como utilizar este recurso vital de maneira sustentável. Este é um tema que deve ser tratado em todos os níveis da educação básica e superior, e também em contextos informais de ensino.

A utilização crescente de água subterrânea demanda necessidade urgente de treinamento e formação de pessoal para monitoramento e planejamento territorial para o manejo do ciclo da água.<sup>[xv, xvi]</sup> A criação de centros avançados de pesquisa, desenvolvimento e inovação em recursos hídricos ligados a programas de pós-graduação pode facilitar a introdução de novos conceitos de pesquisa e manejo, como ecohidrologia e ecotecnologias.<sup>[xvii, xviii, xix]</sup>

## SUGESTÕES PARA LEITURA

MITTERMEIR, R. A. et al (Eds.). **Fresh Water**: the essence of life. Cemex Conservation Book Series. [S.l.]: Earth in Focus Editions, 2010. 299p.

FALKENMARK, M.. Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 358, n. 1440, p.2037-2049, 29 dez. 2003. The Royal Society. <<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2003.1386>>.



[1] Saiba mais em: <[www.newtonfund.ac.uk/about/about-partnering-countries/Brazil/](http://www.newtonfund.ac.uk/about/about-partnering-countries/Brazil/)>.

[2] Saiba mais em: <[www.emdesk.com/H2020/Reporting](http://www.emdesk.com/H2020/Reporting)>.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] UNITED NATIONS. **World Water Development Report 2015: Water for a sustainable world**. Paris: Unesco, 2015. 139 p. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- [ii] TUNDISI, J. G. et al. Water availability, water quality, water governance: the future ahead. In: CUDENNEC, C. et al (Eds.). **Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future**. Proceedings of the 11th Kovacs Colloquium, Paris, France, June 2014. Paris: IAHS Publ. 366, 2015. p. 75-79.
- [iii] JORGENSEN, S.E.; TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Handbook of Inland Waters Ecosystem Management**. Boca Raton: CRC Press, 2012. 430 p.
- [iv] U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **The USGS Water Science School**. 2015. Disponível em: <<https://water.usgs.gov/edu/>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- [v] UNITED NATIONS. **2018 Revision of World Urbanization Prospects**. New York: United Nations, 2018. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/>>. Acesso em: 06 jun. 2018.
- [vi] MITTERMEIR, R. A. et al. Freshwater the essence of life. In: MITTERMEIR, R. A. et al (Eds.). **Fresh Water: the essence of life**. Cemex Conservation Book Series. [S.l.]: Earth in Focus Editions, 2010. p. 15-39.
- [vii] Ver referência [vi].
- [viii] PORTAL BRASIL. Governo Federal. **Cobrança por uso de recursos hídricos gerou R\$ 73,8 milhões em arrecadação para o País**. 2013. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2013/05/cobranca-por-uso-de-recursos-hidricos-gerou-r-73-8-milhoes-em-arrecadacao-para-o-pais>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- [ix] Ver referência (iv).
- [x] FREEDMAN, J.; ENSSLE, C.. **Addressing Water Scarcity Through Recycling and Reuse: a menu for policymakers**. [s. l.]: General Electric, 2015. 60 p. Disponível em: <[https://www.ge.com/sites/default/files/Addressing\\_Water\\_Scarcity\\_Recycle\\_Reuse\\_White\\_Paper.pdf](https://www.ge.com/sites/default/files/Addressing_Water_Scarcity_Recycle_Reuse_White_Paper.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2018.
- [xi] UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Human Development Report 2006: Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis**. New York: UNDP, 2006. 440 p. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/267/hdr06-complete.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- [xii] ZALEWSKI, M.. Ecohydrology, biotechnology and engineering for cost efficiency in reaching the sustainability of biogeosphere. **Ecohydrology & Hydrobiology**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.14-20, 2014. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2014.01.006>>.
- [xiii] FORSLUND, A. et al. **Securing Water for Ecosystems and Human Well-being: The Importance of Environmental Flows**. Swedish Water House Report 24. Stockholm: SIWI, 2009.
- [xiv] POFF, N. L. et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. **Freshwater Biology**, [s.l.], v. 55, n. 1, p.147-170, jan. 2010. Wiley-Blackwell. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02204.x>>.
- [xv] ROGER, P. P.; LLAMAS, M. R.; MARTINEZ-SANTOS, I. Significance of the silent revolution of intensive groundwater use in world water policy. In: LLAMAS, M. R.; MARTINEZ-CORTINA, I. (Eds.). **Water crisis: myth or reality**. [S. l.]: Fundación Marcelino Botín; Taylor & Francis, 2006. p. 163-180.
- [xvi] HIRATA, R. et al. Água subterrânea: reserva estratégica ou emergencial? In: BICUDO, C. E. M. et al (Orgs.). **Águas no Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: ABC/SMA, 2010. p. 149-161.
- [xvii] JORGENSEN, S. E. et al. **Lake and Reservoir Management**. Amsterdam: Elsevier Publs., 2005. 502 p.
- [xviii] TUNDISI, J. G.. Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 21, n. 59, p.109-117, abr. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142007000100009>>.
- [xix] ZALEWSKI, M.. Ecohydrology in the face of the Anthropocene. **Ecohydrology & Hydrobiology**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.99-100, jan. 2007. Elsevier BV. <[http://dx.doi.org/10.1016/s1642-3593\(07\)70175-1](http://dx.doi.org/10.1016/s1642-3593(07)70175-1)>.



---

# 13

## CIÊNCIAS DO MAR

---

NECESSIDADES URGENTES DO BRASIL  
PARA O AVANÇO DA PESQUISA  
OCEANOGRÁFICA

Quatro milhões e meio de quilômetros de território brasileiro – uma área quase do tamanho da Amazônia Legal – estão sob as águas do oceano Atlântico: é a chamada Amazônia Azul. O que acontece nela e, na verdade, no Atlântico como um todo tem papel crucial na modulação do clima e no funcionamento de ecossistemas de várias regiões do território nacional. Por isso, é necessário que o Brasil fique atento à geração de conhecimento sobre o oceano e suas relações com o continente, incluindo questões como poluição, conservação da biodiversidade, exploração sustentável de recursos e várias outras.

A pesquisa em ciências do mar vem se consolidando, no Brasil, nos últimos 40 anos. Atualmente, o país ocupa lugar de destaque no conhecimento da área, em especial em temas relacionados ao Atlântico Tropical, Sul e Austral. Esse é o resultado de um programa de investimento de longo prazo na área de ciências do mar, baseado no reconhecimento da posição estratégica do oceano Atlântico para a sociedade brasileira. Como consequências adicionais desses investimentos, o país viu multiplicados seus cursos de graduação e pós-graduação no tema, o que permitiu a capacitação de recursos humanos para o trabalho nessa área.

No cenário recente, no entanto, a interrupção de programas importantes de institucionalização e de grandes projetos de pesquisa integrada, bem como a crescente dificuldade de manutenção da participação brasileira em programas e projetos internacionais, ameaça fortemente o elevado patamar alcançado pelas ciências do mar no Brasil e sua inserção nos processos de governança para a sustentabilidade dos oceanos.

Com este capítulo, a ABC espera contribuir para destacar o papel do Brasil, uma nação reconhecida internacionalmente pelo seu elevado protagonismo científico na pesquisa sobre os oceanos, propondo o desenvolvimento das ciências do mar a partir de três componentes básicos: diretrizes científicas, desenvolvimento tecnológico e planejamento estratégico e de cooperação.

Embora, durante décadas, a oceanografia brasileira tenha concentrado seus estudos em regiões estuarinas e costeiras, deixando em segundo plano assuntos relacionados ao oceano profundo, os temas mais relevantes da atualidade passam justamente por essa questão: há necessidade de aprimorar conhecimentos sobre a exploração de recursos do mar profundo, como o pré-sal e outros bens minerais, e também de prever desastres naturais e ampliar a compreensão das mudanças climáticas, nas quais o oceano tem grande participação. Nesse contexto, o Brasil precisa olhar com bastante atenção para o sistema acoplado continente-oceano-atmosfera.

Atualmente, e nos próximos anos, as prioridades de pesquisa estão voltadas principalmente ao entendimento dos impactos das mudanças globais no Atlântico, com foco nas regiões tropical e sul, assim como ao funcionamento dos ecossistemas marinhos e a medidas de prevenção e controle dos efeitos das ações humanas sobre os serviços ecossistêmicos prestados. Para o estudo adequado desses temas, serão necessárias inovações tecnológicas e o desenvolvimento de sistemas de observação e de modelagem apropriados, o que somente será possível com um planejamento estratégico e de cooperação adequado.

---

Deve-se salientar que as mudanças climáticas globais afetam os padrões de direção e intensidade dos ventos, resultando em mudanças no ambiente físico-químico-biológico marinho, com marcantes consequências para a sociedade. Alterações no clima de ondas (padrão geral de ondas em uma determinada região) e no nível do mar resultam em impactos diretos na linha de costa, causando erosão ou possíveis intensificações das marés meteorológicas, que, por sua vez, dão origem a inundações, com prejuízos significativos para as populações costeiras. Mudanças assim já vêm sendo observadas ao longo do litoral brasileiro e são, inclusive, citadas no Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima,<sup>[1]</sup> ainda que a diferenciação entre esses processos e a ação direta do homem sobre os ambientes costeiros precise ser melhor definida.

A seguir, a ABC apresenta propostas para o desenvolvimento da ciência oceanográfica no Brasil, com o objetivo de fazer avançar o conhecimento do sistema terrestre e sua modelização, de modo a aumentar a capacidade prognóstica e de gerenciamento das mudanças climáticas e outros processos relacionados aos oceanos.

## CONTINENTE E OCEANO, DOIS AMBIENTES INSEPARÁVEIS

Muitas atividades humanas têm relação estreita com o mar. O oceano é fonte de alimento e energia, depósito de rejeitos, meio de transporte, local de lazer e elemento fundamental de muitas cadeias produtivas. Em tempos recentes, vem sendo observada uma intensificação, em magnitude e em velocidade, das atividades humanas que modificam os sistemas hidrológicos e o transporte de matérias para o oceano. Resultam desse processo alterações drásticas da estrutura e do funcionamento dos ecossistemas marinhos, o que traz consequências ambientais, mas também para as populações humanas que vivem em íntima relação com o mar.

É urgente a formulação de políticas públicas que permitam mitigar impactos e promover a adaptação das populações afetadas por este cenário, contribuindo para o bem-estar social e a conservação do capital natural da longa faixa territorial marinha brasileira. Para que isso seja possível, no entanto, é necessário que a ciência gere conhecimento suficiente para embasar tais políticas e disponibilize esse conhecimento para a sociedade em geral e, de modo especial, para os tomadores de decisão. Embora mantenha sistemas isolados de observação e geração de dados ambientais em seu litoral, o Brasil ainda carece de um sistema integrado (continental, costeiro e oceânico) que possibilite a estruturação de modelos do sistema terrestre em meso e macroescala.

#### LACUNAS DE CONHECIMENTO SOBRE A INTERAÇÃO CONTINENTE-OCEANO

Modelos do sistema terrestre são representações matemáticas das complexas interações entre os diversos componentes do clima do planeta (hidrosfera, atmosfera, biosfera, contribuição antropogênica etc.). No Brasil, a instituição que coordena o desenvolvimento de modelos do sistema terrestre é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para que essa área avance no país, é necessário explorar melhor:

- Os ciclos biogeoquímicos e seu acoplamento em águas costeiras e da plataforma continental;
- A influência antrópica na interação das bacias de drenagem com a interface continente-oceano e seus impactos na plataforma continental;
- As implicações das mudanças globais para os ecossistemas e para o desenvolvimento sustentável;
- A vulnerabilidade da interface continente-oceano e as ameaças à sociedade e à sustentabilidade de seus sistemas.

---

Por outro lado, a sensibilidade da interação continente-oceano aos impactos ambientais depende das características ecológicas e biogeoquímicas de cada região em particular, incluindo as atividades humanas nela instaladas. Assim, torna-se necessário o delineamento de indicadores consistentes da capacidade de suporte dessas regiões, capazes de fornecer cenários confiáveis à implantação de futuras atividades e sua sustentabilidade.

Essa questão ganha uma relevância ainda maior quando se observa que, nos últimos 40 anos, a poluição marinha e seus impactos nos habitats e no funcionamento dos ecossistemas têm aumentado consideravelmente. A produção de resinas plásticas aumentou cerca de 25 vezes, mas sua retirada do meio-ambiente manteve-se constante a 5%,<sup>[2]</sup> o que contribuiu para que os plásticos se tornassem um produto importante e crescente de resíduo urbano. Uma vez descartados, os plásticos são degradados em fragmentos muito pequenos conhecidos como microplásticos, hoje espalhados pela maioria das praias de todo o mundo, e cujos impactos sobre o ambiente e a cadeia alimentar marinha ainda não foram esclarecidos.

Um desafio importante na pesquisa científica e na criação de um projeto de desenvolvimento integrado do litoral brasileiro é a heterogeneidade espacial e temporal da interface continente-oceano. Não existe uma resposta única para a questão do desenvolvimento, pois há ampla variedade de cenários de mudanças, incluindo vetores naturais e antrópicos e arranjos legais e institucionais. A avaliação precisa desses cenários complexos demanda pesquisa, análise e interpretação que perpassam a interface entre as ciências naturais e sociais.

A plataforma continental e o oceano adjacente estão em constante intercâmbio de propriedades físicas e biogeoquímicas, num ambiente de intensa interação. Sabe-se que a circulação entre essas regiões propicia o fluxo de matéria, calor e organismos, mas não está claro como essas trocas ocorrem entre a região costeira, a plataforma continental e o oceano profundo. Também se desconhece a forma como elas irão responder a mudanças na circulação oceânica e no campo do vento.

Por exemplo, peixes e outros organismos marinhos têm ciclos de vida complexos nos quais certos estágios estão à mercê de processos físicos. As larvas planctônicas são suscetíveis a alterações na retenção e ao transporte, de forma que algumas das espécies de interesse comercial aproveitam a alta produção biológica nas plataformas e, ao mesmo tempo, precisam evitar a exportação para o ambiente oceânico, que é biologicamente mais pobre. Entretanto, a variabilidade ambiental tem impactos significativos na circulação oceânica e, conseqüentemente, na exportação de organismos da plataforma continental para o domínio oceânico, o que pode afetar a variabilidade interanual no recrutamento de espécies de interesse comercial.

## LEGISLAÇÃO AMBIENTAL SOBRE AMBIENTES MARINHOS PRECISA SER ATUALIZADA

Embora moderna e bastante eficiente, a legislação brasileira sobre a conservação do meio ambiente, a criação e a gestão de unidades de conservação marinhas e o uso de recursos naturais não leva em consideração a mudança do clima e a abordagem ecossistêmica, ambas pautadas pelo entendimento dos processos oceanográficos. Alguns ecossistemas marinhos, particularmente manguezais e recifes de coral, são particularmente afetados por essa deficiência.

Por exemplo, recentemente, o Novo Código Florestal retirou da categoria de área de preservação permanente áreas de apicuns adjacentes aos manguezais. A medida liberou extensas porções para produção agropecuária (especialmente de camarão) e desenvolvimento urbano e turístico. Porém, é importante notar que, num cenário de mudanças do clima, essas áreas de apicuns permitem justamente a migração dos mangues na adaptação ao aumento do nível do mar. Da mesma forma, a diminuição da pluviosidade anual em algumas regiões do país, como no Nordeste, e o aumento em outras, como no Sul-Sudeste, altera sobremaneira os fluxos de sedimentos ao oceano, desequilibrando os processos de erosão e sedimentação, com impactos diretos sobre manguezais, marismas, recifes de coral e praias.

Urge, portanto, aprofundar o conhecimento sobre as respostas desses ecossistemas-chave às mudanças do clima, permitindo uma adaptação da legislação ambiental que garanta sua conservação e uso sustentável.



O amplo e rápido declínio na biodiversidade marinha verificado nas últimas décadas é, provavelmente, uma consequência do sinergismo entre a modificação e a destruição de habitats, o aumento da presença de espécies invasoras, a sobre-exploração dos recursos vivos e outros impactos humanos. Sendo a biodiversidade um elemento central dos serviços ecossistêmicos prestados pelos oceanos, é importante ressaltar seu papel como indicador das alterações ambientais e, também, como atenuante dos efeitos das mudanças em curso – um efeito que é ainda maior em áreas naturais protegidas, que necessitam ser ampliadas em locais estrategicamente definidos.



Também em relação à biodiversidade marinha, uma questão de extrema importância está relacionada aos biomas do fundo do oceano. Em função da extensão da costa e das características geológico-geomorfológicas de sua margem continental, o Brasil possui uma diversidade ímpar de geohabitats, a maioria com grau de conhecimento incipiente. As recentes descobertas de biomas carbonáticos na plataforma externa da Foz do Amazonas<sup>[1]</sup> assim como a identificação de organismos extremófilos associados a exudações de asfalto e gás e à dissolução de depósitos salinos, nas margens sudeste e sul do Brasil, revelam haver um imenso campo para o estudo da biodiversidade, com derivações potenciais para a biotecnologia.

Como já mencionado, a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas marinhos resultam da interação entre os seus componentes físicos, químicos, geológicos e biológicos. Em relação às forçantes físicas, vale destacar que, em pequenas escalas, a turbulência e a viscosidade da água podem afetar a taxa de alimentação de pequenos organismos marinhos, com impacto sobre a biodiversidade. Em dezenas de metros, fluxos advectivos e turbulentos transportam organismos planctônicos e nutrientes na coluna de água. Já estruturas de mesoescala, como vórtices e frentes, afetam a dinâmica do ecossistema, desde os primeiros níveis (produtores primários) até níveis tróficos mais elevados (peixes). Portanto, as determinantes físicas da dinâmica da biodiversidade marinha são também relevante tema de pesquisa.

Finalmente, é importante valorizar o papel da geodinâmica, responsável pelos fenômenos tectônicos e atectônicos que, por sua vez, condicionam a estabilidade dos fundos marinhos. Esse conhecimento é fundamental para obras de engenharia sobre o assoalho oceânico, tais como a instalação de plataformas de exploração de óleo e gás, a disposição de dutos e cabos submarinos e, eventualmente, atividades de mineração.

Associados às bacias abissais, às montanhas submarinas e à dorsal meso-atlântica existem depósitos de crostas cobaltíferas, nódulos polimetálicos, sulfetos e outros minerais de interesse econômico, identificados por iniciativas científicas de vários países, inclusive o Brasil. Inegavelmente, o aproveitamento econômico desses recursos, em harmonia com a crescente preocupação em conservar o mar profundo, depende de consideráveis avanços no conhecimento.

O recente processo de reconhecimento geológico e ambiental da Elevação do Rio Grande permitiu ao Brasil aprovar, junto à Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (ISBA), a primeira proposta para exploração de crostas cobaltíferas no oceano Atlântico. As atividades desenvolvidas na Elevação do Rio Grande revelaram que essa área detém potencial para a ocorrência de crostas ferromanganesíferas ricas em cobalto. Tais crostas resultam da precipitação em ambientes frios de água marinha sobre substratos de rochas duras, formando pavimentos de espessuras de até 250 mm. A principal importância econômica dessas crostas é a presença de elementos como cobalto, níquel, platina, manganês, tálio e telúrio, entre outros.

Assim, alguns temas prioritários para a oceanografia brasileira nos próximos anos devem ser:

---

# 1

---

Identificar e caracterizar as consequências do aumento e das novas formas de poluição no mar, de modo a fundamentar o gerenciamento de conflitos de interesse entre o aumento da produção no continente (emissão de excesso de nutrientes, plásticos, nanopartículas, substâncias tóxicas e radioativas) e o tratamento e a reciclagem apropriados;

# 2

---

Identificar, de forma rápida, novos poluentes e mecanismos adequados para enfrentá-los em um prazo adequado;

# 3

---

Promover estudos transversais entre as ciências naturais e as ciências humanas, com o objetivo de mapear a interligação dos vetores e pressões que atuam sobre o mosaico da relação continente-oceano, de modo a fundamentar o gerenciamento ambiental e a preservação dos ecossistemas marinhos;

# 4

---

Aperfeiçoar o conhecimento dos processos de interação entre plataformas continentais e o oceano profundo, com o objetivo de modelar e prever a evolução de seus ecossistemas em resposta às mudanças climáticas e desenhar estratégias mais apropriadas de conservação da biodiversidade;

# 5

---

Investigar o papel da conservação da biodiversidade na resiliência dos ecossistemas expostos a impactos naturais e antrópicos adversos, como a aceleração das mudanças climáticas, a contaminação ambiental e a exploração não sustentada de recursos pesqueiros. Essa avaliação também ajudará a explicar o papel das espécies, incluindo predadores de topo de cadeia alimentar, na sustentabilidade e no equilíbrio dos ecossistemas marinhos;

# 6

---

Identificar e compreender os processos físicos envolvidos na dinâmica dos oceanos e sua relação com o funcionamento dos ecossistemas marinhos;

# 7

---

Realizar estudos paleoclimáticos e paleoceanográficos em diversas escalas temporais no Atlântico Sul, aproveitando a recente entrada do Brasil no Programa Internacional de Descoberta Oceânica (IODP, na sigla em inglês), que tem permitido a formação de pessoal qualificado na área;

# 8

---

Desenvolver pesquisas sobre recursos não vivos, tanto de plataforma quanto de oceano profundo. Destaca-se, nesse contexto, o potencial de exploração de carbonatos em plataforma e de depósitos polimetálicos de mar profundo.



# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A DINÂMICA DOS OCEANOS

As mudanças climáticas, de uma forma geral, foram tema do **Capítulo 7** deste livro. Mas muito se fala sobre como os mares têm papel fundamental na manutenção ou modificação das dinâmicas climáticas no planeta. Por exemplo, conforme enfatizado no terceiro capítulo do Quinto Relatório de Avaliação do Clima do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas,<sup>[ii]</sup> a estabilidade e a variabilidade do clima são fatores fortemente modulados pelo padrão de circulação oceânica global conhecido pela sigla MOC (do inglês *meridional overturning circulation*). Assim, este capítulo ressalta em particular as relações entre diferentes regiões do oceano Atlântico e o clima no Brasil.

A ligação trópicos-altas latitudes está vinculada à gênese e à dinâmica das massas de ar frias geradas sobre o oceano austral, que avançam sobre a América do Sul subtropical produzindo eventos de baixa temperatura e geadas nos estados do sul do Brasil – as friagens ou frentes frias que podem chegar até o sul da Amazônia. Por outro lado, mudanças significativas nos componentes físicos e biogeoquímicos do oceano austral já estão em curso: as camadas superiores e intermediárias desse oceano (primeiros 2.000 m de profundidade) estão aquecendo a taxas maiores do que aquelas observadas nos outros oceanos. Ao mesmo tempo, as camadas superficiais dos mares regionais no entorno do continente antártico apresentam redução significativa de salinidade, como resultado de alterações nos regimes de precipitação e de maiores derretimento basal e desintegração de plataformas de gelo.

Parte dessas modificações já se propaga para profundidades abissais. Medidas obtidas por sensoriamento remoto orbital mostram importantes alterações na dinâmica do oceano austral, como o aumento generalizado no nível relativo do mar, as alterações latitudinais nas posições das principais frentes (e, portanto, do próprio eixo) da corrente circumpolar antártica e as fortes alterações regionais na extensão do gelo marinho antártico.

O oceano Atlântico Tropical, por sua vez, é uma região chave para a compreensão climática regional e global, pois afeta o clima ao modular a variabilidade interanual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) – região de encontro dos ventos alísios de sul e de norte –, principal mecanismo gerador de chuvas e secas sobre o Nordeste do Brasil, e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), direta e indiretamente afetada pelas interações entre a temperatura de superfície do mar e a precipitação sobre a região Sudeste do país. Alterações da intensidade dos centros de alta pressão atmosférica nas regiões subtropicais sul e norte do Atlântico estão intimamente ligadas à gangorra meridional de anomalias de pressão e temperatura de superfície no Atlântico Tropical, o que também tem enorme relevância para a previsão e a previsibilidade de secas sobre o Nordeste.

Já as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil têm regime pluviométrico fortemente afetado pela ZCAS. Por um lado, ela dialoga com o transporte de umidade proveniente da Amazônia através do jato de baixos níveis – ventos nas camadas inferiores da atmosfera, soprando para sul ao longo do sopé da cordilheira dos Andes. Por outro, mantém com o Atlântico uma relação de circulação termicamente indireta, com a predominância da ocorrência da zona de convergência sobre águas mais frias, o que é resultado da influência dos fluxos de radiação solar nas temperaturas da superfície do mar.

Pesquisas científicas realizadas nas últimas décadas<sup>[iii, iv, v]</sup> confirmam a grande dependência do clima de determinadas regiões com relação aos mecanismos de interação oceano-atmosfera que ocorrem nas áreas oceânicas adjacentes. Esses mecanismos físicos de troca de energia e de massa regulam as condições de temperatura da superfície do mar, de transporte de umidade e de calor e da ação dos ventos, atuando de forma decisiva sobre a variabilidade do clima das regiões continentais. A antecipação precisa do estado do oceano associado às condições físicas atmosféricas e marítimas pode reduzir sensivelmente os impactos negativos ambientais e socioeconômicos por meio de medidas preventivas nas esferas federais e estaduais.

É possível e provável, ainda, que o ciclo da água no planeta se modifique em decorrência das mudanças climáticas. Por exemplo, o aumento da evaporação oceânica e da precipitação global poderia resultar na aceleração do ciclo da água atmosférica. Por sua vez, isso aumentaria o transporte de umidade do oceano para os continentes, alterando os índices de precipitação continental e do retorno do fluxo de água entre continente e oceano. Em escala regional, no entanto, características de propagação do transporte de umidade atmosférica são mal quantificadas, impedindo uma estimativa exata do grau em que o transporte de umidade da atmosfera pode equilibrar o balanço de água terrestre tanto no âmbito do aquecimento observado quanto das temperaturas crescentes projetadas para o futuro.

Atualmente, são insuficientes as informações existentes sobre os impactos no mar e na zona costeira devido a alterações no ciclo da água, em especial no que se refere a impactos relacionados com a qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos, incluindo as dimensões socioeconômicas. Os efeitos das descargas alteradas de rios nos oceanos – e, em particular, nos mares marginais e nas zonas costeiras – são múltiplos e incluem, por exemplo, mudanças na circulação de água em diferentes escalas, alterações de estratificação e transporte de sedimentos, com consequências na erosão costeira, e mudanças no fornecimento de nutrientes, com implicações para a biota, e também na qualidade da água e na poluição.

Por sua vez, os impactos do aumento do nível do mar, da altura das ondas, da erosão costeira, das tempestades e influências meteorológicas sazonais, das mudanças de densidade causadas pela interação gelo-oceano em altas latitudes e das mudanças não lineares na circulação oceânica têm sido explorados em estudos ao longo das últimas décadas. Mas outras pesquisas são necessárias para compreendê-los completamente.



Por fim, a acidificação dos oceanos é outra questão que guarda relação direta com as mudanças climáticas, pois resulta da absorção oceânica do excesso de dióxido de carbono da atmosfera. A redução no pH da água causa mudanças irreversíveis na química dos oceanos e impacta a vida marinha, especialmente as espécies que dependem de estruturas calcárias, como corais, moluscos e equinodermos. Muitos desses organismos são importantes fontes de proteína para a humanidade, enquanto outros representam importantes estruturas de suporte para a biodiversidade marinha ou desempenham relevante papel na estruturação de comunidades marinhas por meio de seus efeitos na cadeia alimentar.

Além disso, os níveis decrescentes de pH reduzirão a capacidade do oceano de absorver  $\text{CO}_2$  no futuro. Com os oceanos mais quentes, a solubilidade desse gás na água também diminuirá, resultando em uma retroalimentação positiva, ou seja, no longo prazo, a acidificação contribuirá para o aumento ainda maior da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera.

Considerando as questões acima expostas, a ABC propõe que a comunidade científica brasileira se debruce sobre as seguintes questões relacionadas à interface entre oceanografia e mudanças climáticas:





---

# 1

---

Investigar os processos físicos e biogeoquímicos associados às mudanças na circulação do oceano austral e sua interação com o gelo marinho e as plataformas de gelo que possam ter impacto nos climas do Brasil e do Atlântico Sul;

# 2

---

Esclarecer o papel das mudanças climáticas sobre o oceano Atlântico Sul e seus efeitos decorrentes, tais como a elevação do nível médio relativo do mar, as alterações na circulação oceânica forçada por gradientes de temperatura e salinidade, a acidificação do oceano, as alterações na abundância das espécies e a perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos;

# 3

---

Aprofundar o conhecimento sobre a acidificação dos oceanos, pois as consequências dessas mudanças, especialmente no contexto de múltiplos estressores, para os ecossistemas marinhos ainda não são claras;

# 4

---

Avaliar a utilidade dos oceanos – e o possível impacto sobre eles – na aplicação de métodos de geoengenharia para mitigação das mudanças climáticas, como a fertilização da água do mar e o armazenamento de CO<sub>2</sub> em águas profundas. É necessário avaliar a eficiência, os riscos e as consequências dessas intervenções e sua viabilidade para atenuar os impactos das alterações climáticas sem criar novas consequências ambientais indesejáveis.

# APOIO À PESQUISA OCEANOGRÁFICA

Para atender as demandas científicas sobre as mudanças do clima e do funcionamento dos ecossistemas marinhos de forma adequada, são necessárias observações mais frequentes e espacialmente mais densas. Nesse sentido, é crucial o fomento ao desenvolvimento da inovação científica e tecnológica, que permitirá avanços no conhecimento básico sobre biologia, química, geologia e física dos oceanos, bem como sobre as interconexões entre essas disciplinas.

Os avanços nas capacidades dos sensores, incluindo contribuições da nanotecnologia, da genômica e da robótica, estão fornecendo maior acesso e novas perspectivas sobre o ambiente oceânico. Essas novas observações, conduzidas em escalas temporal e espacial adequadas, já começaram a revolucionar o entendimento do ecossistema oceânico. Mas é importante ressaltar que o acesso contínuo e aberto ao oceano, às zonas costeiras e às bacias hidrográficas depende de novas infraestruturas e tecnologias, desde sensores acoplados a satélites até veículos aéreos e submarinos não tripulados. O desenvolvimento de ferramentas inovadoras, como veículos autônomos operados remotamente, técnicas moleculares e de sequenciamento genético e sensores físicos, químicos e biológicos facilitarão novos experimentos e observações e permitirão o estudo de processos que vão desde episódios isolados até ciclos globais.

Além de permitir o avanço do conhecimento, o desenvolvimento de tecnologias pode ampliar a capacidade de aproveitamento dos recursos oceânicos. O Brasil tem desempenhado papel relevante na exploração e produção de petróleo e gás em águas profundas, atividades que envolvem tecnologias de ponta e uma visão internacional quanto à agregação de conhecimento da academia e a inovação em empresas especializadas. Esse modelo bem-sucedido é liderado pela Petrobras, com a participação de universidades e empresas nacionais e estrangeiras, e tem como base recursos humanos de alta e múltipla especialização, com foco numa atividade econômica altamente complexa.

A possibilidade de avanço das atividades econômicas no oceano depende de um esforço contínuo, com as conquistas científicas transferidas para formas de atuação inovadoras. No caso específico do Brasil, essas conquistas resultam, por exemplo, em avanços na produção de óleo e gás, com instalações mais seguras e operação mais automatizada, minimizando o trabalho em condições hostis. As oportunidades na exploração de minerais em mar profundo, com tecnologias apropriadas em termos de veículos autônomos submarinos e transferência da produção à superfície por dutos projetados para este fim, inclusive com a utilização de novos materiais, trazem desafios científicos e tecnológicos relevantes.

De forma complementar, a transição de fontes fósseis para as renováveis tem no oceano um forte aliado. Como já foi mencionado neste livro, diferentes fontes de energia renovável podem ser usadas para produção de eletricidade e, também, possibilitar a dessalinização da água – nesse contexto entram as fontes eólicas *offshore* e a energia proveniente de ondas, correntes, marés, gradiente térmico entre superfície e fundo e gradiente de salinidade entre águas doce e salgada na foz de rios. O aproveitamento dessas fontes renováveis, abundantes no mar territorial brasileiro, pode trazer grandes perspectivas econômicas e de trabalho nas próximas décadas.

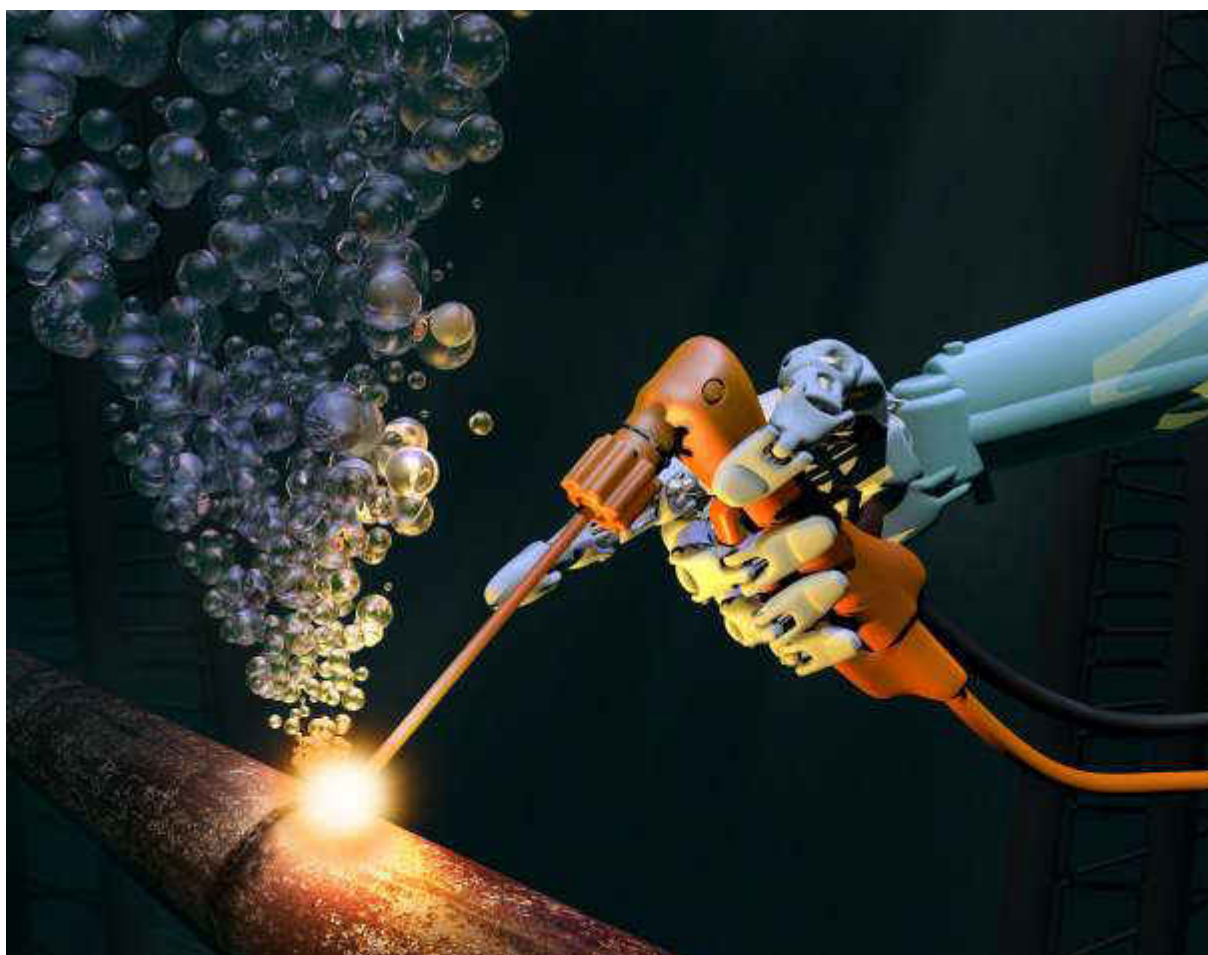
## DE OLHO NO OCEANO

O Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (Simcosta) é uma rede integrada de boias meteo-oceanográficas distribuídas ao longo da costa, com funcionamento autônomo e capacidade de coletar regularmente variáveis oceanográficas e meteorológicas. Esses dados são enviados para uma central de processamento e disponibilizados imediatamente. Em médio e longo prazos, o sistema deverá fornecer informações ambientais mais precisas e robustas para os estudos oceanográficos, ecológicos e climáticos, permitindo, assim, avaliações sobre os impactos das mudanças climáticas e riscos de eventos extremos em zonas costeiras brasileiras.

Este projeto de sucesso, que foi responsável pelo monitoramento oceânico durante os Jogos Olímpicos RIO 2016, requer, como tantos outros, estabilidade de recursos. Um grande desafio para o monitoramento e a observação dos oceanos de forma integrada e sustentada no Brasil é a manutenção de um conjunto de atividades continuadas de longo prazo, de modo a revelar mudanças ao longo do tempo e fornecer serviços fundamentais para responder às preocupações da sociedade.

Sensores e dispositivos de monitoramento oceânico devem também ser foco das atividades tecnológicas no país. A capacitação de núcleos dedicados ao desenvolvimento e à manutenção de sistemas de medição oceanográfica pode ser implementada num esforço planejado em escala nacional, com o apoio de um instituto nacional de pesquisas oceanográficas, em cooperação com universidades e empresas inovadoras de base tecnológica. Ademais, espera-se que as cooperações internacionais paritárias com o Brasil permitam a capacitação de técnicos e engenheiros no desenvolvimento de novas tecnologias e instrumentos de medição nos mais diversos campos da oceanografia, em sistema de desenvolvimento aliado às demandas da ciência.

A participação crescente do país em esforços internacionais de compreensão dos fenômenos oceanográficos resultou em uma significativa produção científica e de desenvolvimento tecnológico a partir do final do século passado.<sup>[vi]</sup> Duas vertentes são fundamentais para o pleno desenvolvimento da cooperação internacional. Primeiro, no âmbito do monitoramento do Atlântico Sul, é fundamental o incremento das ações de cooperação Sul-Sul, sem prejuízo das cooperações Sul-Norte. Em seguida, é necessário manter e fortalecer os mecanismos de mobilidade, capacitação, codesenvolvimento e transferência de tecnologias.



## PROJETOS INTERNACIONAIS COM PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA

**Rede Pirata (acrônimo para *Prediction and Research Array of moored buoys in the Tropical Atlantic*):** É voltada ao monitoramento oceanográfico e meteorológico do Atlântico Tropical por meio de boias ancoradas. Foi estabelecida em 1997 como fruto da colaboração entre Brasil, França e Estados Unidos e, atualmente, conta com 19 anos de séries de dados horários do oceano superior (até 500 m de profundidade) e variáveis meteorológicas de superfície, com centenas de milhares de arquivos de dados distribuídos anualmente via internet. Tornou-se, assim, a rede de referência internacional para o Atlântico Tropical.

**Samoc (de *South Atlantic Meridional Overturning Circulation*):** Iniciativa liderada pelo Brasil e conduzida em colaboração com instituições de EUA, Europa, Argentina e África do Sul, com o objetivo de monitorar a MOC no Atlântico Sul. Foi iniciada em 2009, com lançamento de uma rede de monitoramento durante a primeira campanha a bordo do Navio Oceanográfico Cruzeiro do Sul. Em 2017, um novo projeto foi aprovado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo para continuidade da contribuição brasileira até 2022.

**Monitoramento da Variabilidade Regional do transporte de calor e volume na camada superficial do oceano Atlântico Sul entre o Rio de Janeiro e a Ilha Trindade (Movar):** Parceria entre Brasil e EUA, representa o mais longo esforço de monitoramento continuado da Corrente do Brasil a partir de plataformas embarcadas.

**Zona de Paz e Cooperação do Atlântico Sul (Zopacas):** O Brasil tem liderado, em conjunto com África do Sul, um esforço de cooperação científica Sul-Sul envolvendo Argentina, Uruguai, Namíbia e Angola, identificando temas de interesse mútuo e ações colaborativas conjuntas.

**Programa Internacional de Descoberta Oceânica (IODP):** É o mais importante e ambicioso programa de exploração dos fundos marinhos, no qual o Brasil se inseriu em 2012, e já permitiu a participação de pesquisadores brasileiros em diversos cruzeiros de perfuração em várias partes do mundo, com foco voltado para a capacitação, em nível de excelência, de graduandos, pós-graduandos, pós-doutorandos e pesquisadores.

Em que pese essa participação bem-sucedida do Brasil em projetos internacionais, a falta de uma gestão integradora que garanta a sustentabilidade de longo prazo desses programas compromete a obtenção de informações altamente relevantes para a sociedade. Somente por meio do monitoramento contínuo de variáveis oceânicas será possível melhorar a capacidade científica de entendimento e previsão dos impactos resultantes das mudanças globais.

Internamente, também é necessário manter a estabilidade dos recursos e providenciar a institucionalização da pesquisa oceanográfica no país. É desejável a realização de projetos estruturantes, como a criação e instalação de um instituto nacional de pesquisas oceânicas. Este instituto teria como ponto focal a gestão integradora dos sistemas de observação e monitoramento, incluindo a plena utilização das plataformas embarcadas disponíveis, em particular os navios de pesquisa Vital de Oliveira, Cruzeiro do Sul e o Almirante Maximiano.

Outra prioridade deve ser a finalização da instalação da nova estação Antártica Brasileira, melhorando sensivelmente a permanência de cientistas no continente e sua integração com programas internacionais em andamento na Antártica. Igualmente importante será a busca pela expansão da presença de pesquisadores no continente antártico, seja pelas vias da logística nacional ou participando de programas estrangeiros.

Por fim, é fundamental a aquisição de novos equipamentos analíticos e novos meios flutuantes para avanços qualitativos e quantitativos das pesquisas em oceanografia, de modo a preencher lacunas de conhecimento essenciais e para o provimento da infraestrutura necessária para o país avançar na apropriação do mar como eixo estruturante do desenvolvimento econômico nacional. Nesse sentido, a cooperação com a iniciativa privada nacional pode facilitar o desenvolvimento de sensores e equipamentos oceanográficos, reduzindo a dependência da importação desses sistemas – o que também gera economia de recursos e estimula a criação de empregos de alto nível no setor. Além do desenvolvimento de instrumentos, é também necessário capacitar, no Brasil, recursos humanos para a calibração de instrumentos e sensores, em parceria com a iniciativa privada e os institutos de pesquisa envolvidos em oceanografia.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

LAUDUANE, W.K.M.; WALISER, E. **Intraseasonal Variability in the Atmosphere-Ocean Climate System**. Berlim: Springer, 2012.

RIVERA-MONROY, V.H.; LEE, S.Y.; KRISTENSEN, E.; TWILLEY, R.R. **Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective** Structure, Function, and Services. Berlim: Springer, 2017.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **World Ocean Assessment: Overview**. Arendal: Unep, 2016. 16 p.

Disponível em:

<[https://environmentlive.unep.org/media/docs/assessments/WOA\\_screen.pdf](https://environmentlive.unep.org/media/docs/assessments/WOA_screen.pdf)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

UNITED NATIONS. **World Ocean Assessment: Regular Process for Global Reporting and Assessment of the State of the Marine Environment Including Socioeconomic Aspects**. 2013. Disponível em: <<http://www.worldoceanassessment.org/>>. Acesso em: 09 abr. 2018.

---

[1] Saiba mais em <<http://www.mma.gov.br/clima/adaptacao/plano-nacional-de-adaptacao>>.

[2] Mais detalhes em <[http://www.un.org/Depts/los/global\\_reporting/WOA\\_RegProcess.htm](http://www.un.org/Depts/los/global_reporting/WOA_RegProcess.htm)>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] MOURA, R. L. et al. An extensive reef system at the Amazon River mouth. **Science Advances**, [s.l.], v. 2, n. 4, 22 abr. 2016. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1501252>>.
- [ii] RHEIN, M. et al. Observations: Ocean. In: STOCKER, T. F. et al (Eds.). **Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: Cambridge University Press, 2013. p. 255-316.
- [iii] BARREIRO, M. Influence of ENSO and the South Atlantic Ocean on climate predictability over Southeastern South America. **Climate Dynamics**, [s.l.], v. 35, n. 7-8, p.1493-1508, 22 set. 2009. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1007/s00382-009-0666-9>>.
- [iv] RODRIGUES, R. R. et al. The Impacts of Inter-El Niño Variability on the Tropical Atlantic and Northeast Brazil Climate. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 24, n. 13, p.3402-3422, jul. 2011. American Meteorological Society. <<http://dx.doi.org/10.1175/2011jcli3983.1>>.
- [v] RODRIGUES, R. R.; CAMPOS, E. J. D.; HAARSMA, R.. The Impact of ENSO on the South Atlantic Subtropical Dipole Mode. **Journal Of Climate**, [s.l.], v. 28, n. 7, p.2691-2705, abr. 2015. American Meteorological Society. <<http://dx.doi.org/10.1175/jcli-d-14-00483.1>>.
- [vi] LACERDA, L. D. (Coord.). **Interrelações Oceano-Continente no Cenário das Mudanças Globais**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2012. 9 p. Disponível em: <<http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-3233.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2018.





---

14

# BRASIL NO ESPAÇO

---

ESTRATÉGIAS PARA UM NOVO PROGRAMA  
DE ATIVIDADES ESPACIAIS

Observar e compreender o espaço sempre moveu a curiosidade humana, em todas as épocas. Na segunda metade do século XX, essa curiosidade, com o auxílio das tecnologias, levou o homem a lançar equipamentos ao espaço e, em seguida, nele viajar, o que acendeu ainda mais seu interesse sobre o universo. Nesse campo, quanto mais se conquista, mais se deseja – por isso, não é exagero afirmar que as atividades espaciais estarão entre aquelas que moldarão o desenvolvimento das civilizações neste século.



CBERS-4 em Órbita - imagem artística/Agência Espacial Brasileira

Essa área do conhecimento está apoiada em três pilares: ciência espacial, tecnologia ou engenharia espacial e aplicações espaciais. No primeiro pilar, encontram-se as grandes questões científicas que têm impulsionado o desenvolvimento da astronomia, da astrofísica e, mais recentemente, da cosmologia. Já o segundo pilar compreende as inovações que foram capazes de tornar real a presença humana no espaço, e que possibilitaram investigações em física espacial, radiação cósmica, clima espacial, astrobiologia, objetos do Sistema Solar, planetas extrassolares e uma ampla variedade de temas. Por fim, o terceiro pilar compreende as aplicações práticas da tecnologia espacial, sejam elas aproveitadas no espaço ou aqui mesmo na Terra.

Desde o século passado, o setor espacial tem sido considerado de alto valor político-estratégico para o desenvolvimento soberano de diferentes nações. Um exemplo claro disso foi a corrida entre Estados Unidos e União Soviética para levar o homem à Lua. Aos poucos, outras nações, incluindo alguns países da União Europeia, Japão, China, Índia e Coreia do Sul, também ampliaram substancialmente suas atividades espaciais. O progresso no desenvolvimento de satélites, lançadores e sistemas avançados de rastreamento e controle, além de pesquisas e aplicações espaciais, não foi acionado apenas pelo desejo de explorar a vasta fronteira desconhecida do espaço, mas, principalmente, pela possibilidade de obter retornos socioeconômicos sob a forma de produtos, serviços e conhecimentos.

Em decorrência dessas aplicações, o mercado espacial global tem se ampliado continuamente, atingindo US\$ 323 bilhões em 2015.<sup>[1]</sup> A participação do Brasil nesse mercado ainda é inexpressiva, embora com potencial de crescimento, em especial por meio de projetos como os satélites da série CBERS (acrônimo em inglês para Satélite de Recursos Terrestres China-Brasil)<sup>[1]</sup> e o foguete de sondagem VSB-30 (acrônimo para Veículo de Sondagem Booster)<sup>[2]</sup> e pela capacitação e domínio de algumas tecnologias críticas pela indústria nacional. Outra vantagem competitiva importante é a localização estratégica do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), no município de Alcântara, Maranhão.

## PERSPECTIVA HISTÓRICA

As atividades do setor espacial brasileiro estão inseridas em arranjo institucional estabelecido no final da década de 1970, quando foi criado o primeiro programa espacial de longo prazo e definida a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), com três grandes metas: desenvolver um lançador de satélites, desenvolver satélites de monitoramento ambiental e operacionalizar o Centro de Lançamento de Alcântara. Concebida no período militar, a missão representou um esforço do governo para envolver dois atores institucionais principais na sua execução, o Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

Os primeiros 20 anos das atividades espaciais no Brasil foram dedicados à formação de recursos humanos, à construção de infraestrutura laboratorial para pesquisa científica básica e às primeiras iniciativas de utilização dos meios espaciais em aplicações terrestres, com destaque para sensoriamento remoto e telecomunicações. Como já mencionado, a MECB vislumbrava para o país um papel de protagonista na área espacial, por meio da capacitação para atuação autônoma em desenvolvimento e utilização de sistemas espaciais. Embora essa diretriz nunca tenha se concretizado como originalmente prevista, acabou lançando bases de infraestrutura física e de capital humano essenciais para as diversas outras iniciativas que a sucederam.

A partir do final da década de 1980, o Inpe exerceu forte atuação no desenvolvimento de satélites. Apesar dos enormes desafios, esse programa evoluiu muito, desde a inauguração do Laboratório de Integração e Testes, em 1987, até o lançamento exitoso do Satélite de Coleta de Dados-1 (SCD-1), em 1993. Na mesma época, foi assinado o protocolo de cooperação entre Brasil e China, que resultou no lançamento do primeiro satélite da série CBERS em 1999 e progrediu com êxito até o lançamento do CBERS-4, em 2014.

Já a atividade de desenvolvimento de veículos lançadores pelo DCTA foi iniciada com o projeto e a fabricação do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1) a partir de 1984. A concepção original do VLS-1 foi atualizada e um novo veículo lançador de satélites, denominado Veículo Lançador de Microssatélites, foi proposto e está em desenvolvimento.

No desenvolvimento da indústria aeroespacial no Brasil, vale notar, em 2012, a criação da empresa Visiona, a primeira integradora nacional de sistemas espaciais completos, fruto de parceria entre a Embraer e Telebrás e concebida para buscar maior coordenação e adensamento da cadeia produtiva e liderar a inserção da indústria brasileira no mercado internacional. Outra iniciativa digna de nota foi a parceria entre Brasil e Ucrânia na empresa Alcântara Cyclone Space, constituída em 2006 para a comercialização e o lançamento de satélites utilizando o foguete ucraniano Cyclone-4, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara. O projeto, no entanto, foi descontinuado pelo governo brasileiro em 2015, o que demonstra que o cenário de desenvolvimento de uma indústria aeroespacial brasileira ainda é incerto.

Como em outros setores, o desenvolvimento das atividades espaciais no país depende fundamentalmente de decisões e ações do Estado, além da atuação das comunidades científica e empresarial.

---

# PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

A base legal de suporte às atividades espaciais no Brasil é o Decreto 1.332/1994, que atualizou a Política Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais (PNDAE). Esse instrumento, em sua abertura, introduz o conceito de Programa Espacial Brasileiro (PEB) e fundamenta o Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) como um conjunto de ações, propostas no âmbito do conselho superior da Agência Espacial Brasileira (AEB),<sup>[3]</sup> com horizonte decenal e atualizações periódicas. Em sua versão atual (2012-2021),<sup>[ii]</sup> o PNAE divide sua atuação em duas vertentes básicas complementares: visão estratégica e planejamento de entregas, em que a primeira parte apresenta a fundamentação que justifica a proposição das entregas elencadas pela segunda.

A PNDAE destaca que a execução do PEB deve resultar em benefícios à sociedade, com o desenvolvimento de projetos coerentes que levem ao domínio soberano da tecnologia espacial. Dessa forma, não se pode interpretar o PNAE como um mecanismo isolado; ao contrário, é preciso considerá-lo integrado a políticas públicas das mais diversas vertentes, como saúde, mobilidade urbana, meio ambiente, educação e infraestrutura.

Vale notar, ainda, que as atividades espaciais brasileiras, ao contrário do que ocorreu por muitos anos, não estão atualmente vinculadas apenas à esfera direta de influência da AEB. Um exemplo disso é o projeto do Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicações Estratégicas, que, apesar de integrar o PNAE, é financiado com recursos externos à agência espacial. Outro é o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE), formulado pelo Comando da Aeronáutica em resposta ao mandato que lhes foi atribuído pela Estratégia Nacional de Defesa. A governança dessas iniciativas paralelas é questão ainda em aberto no âmbito do Governo Federal, em razão de conflitos na harmonização dos mandatos legais das várias partes envolvidas.

Outro aspecto importante do PEB é o baixo investimento feito em todo o programa, atualmente cerca de seis a sete vezes menor que os orçamentos dos programas da Índia e da Itália, e 33 vezes menor que o investido no programa da China.<sup>[iii]</sup>

#### OBJETIVOS DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO (PEB)

- Capacitar o país no uso de “recursos e técnicas espaciais” para o atendimento de demandas nacionais;
- Disponibilizar à sociedade brasileira serviços e informações derivados da área espacial;
- Dotar o “setor produtivo brasileiro” com a capacitação para atuar em mercados de bens e serviços espaciais.

#### ESTRATÉGIAS DO PEB

- a) Estabelecimento de programas mobilizadores e projetos;
- b) Desenvolvimento de atividades de cooperação internacional;
- c) Desenvolvimento de atividades de formação e capacitação de recursos humanos;
- d) Promoção de ações de incentivo à participação industrial no programa;
- e) Desenvolvimento de programas e projetos de capacitação em tecnologias críticas;
- f) Implantação, manutenção e ampliação de infraestrutura associada ao desenvolvimento espacial.

---

Embora o texto do PNDAE faça referências à promoção do avanço do conhecimento científico, não há quaisquer objetivos específicos nesta direção. Em particular, é lamentável observar que a ênfase do programa CBERS tenha sido no desenvolvimento conjunto de satélites, sem incluir transferência de tecnologias sensíveis e sem promover colaborações científicas entre Brasil e China na utilização das cargas úteis dos satélites.

Por motivos como este, é importante que se faça uma revisão detalhada tanto do PNDAE quanto do PNAE, de forma a melhor definir a governança e o papel de diferentes atores no programa espacial brasileiro, em particular com relação à atuação de organismos governamentais, institutos de pesquisa, comunidade científica e empresas; à clara separação entre os objetivos civis e de defesa; e à inclusão explícita do objetivo de promover o avanço científico.

## O BRASIL NO ESPAÇO: SATÉLITES

Em relação ao desenvolvimento e lançamento de satélites, nos últimos 30 anos, o programa espacial brasileiro foi caracterizado predominantemente pelo programa CBERS. Além dos cinco satélites lançados dentro dessa colaboração internacional (CBERS 1, 2, 2B, 3 e 4), foram completados outros pequenos satélites, com massa inferior a 120 kg. Outras iniciativas foram iniciadas, mas não realizadas, isto é, não resultaram em um modelo de voo para o satélite ou plataforma espacial.

O Brasil desenvolveu e lançou ao espaço 12 satélites, uns com mais sucesso do que outros. Os satélites SCD-1 e SCD-2, embora tenham sido projetados para vida útil inferior a um ano, ainda estão parcialmente em operação. O satélite CBERS-3 não entrou em órbita devido a falha no lançamento, pelo veículo chinês Longa Marcha. Já o satélite CBERS-4, lançado em 2014, está em pleno funcionamento e já forneceu mais de 40 mil imagens com a câmera MUX, desenvolvida por indústria nacional.

A cooperação internacional, em especial com a China, parece ter sido de fato o grande mecanismo indutor do desenvolvimento de missões satelitais no Brasil, e provavelmente continuará a sê-lo no futuro. Todavia, ela não foi capaz de tornar sustentável a atividade de desenvolvimento de satélites, tanto do ponto de vista do domínio completo e soberano de todas as tecnologias envolvidas, como do de consolidação da indústria nacional e atendimento das demandas operacionais do país em sistemas espaciais.

Grande parte da demanda brasileira por produtos e serviços espaciais é hoje atendida por sistemas espaciais estrangeiros, mesmo na área de observação da Terra. Órgãos da administração pública despendem dezenas de milhões de reais para obter imagens de satélite de alta resolução. Atividades de telecomunicações, meteorologia e geoposicionamento, incluindo atividades de defesa, também dependem de satélites estrangeiros.

Para tentar reverter esse quadro, atualmente, o Brasil está desenvolvendo dois satélites para sensoriamento remoto, o Amazônia-1, inteiramente projetado e construído no Brasil,<sup>[4]</sup> e o CBERS-4A, que faz parte do programa de colaboração com a China. Ambos estão programados para ser lançados no final de 2018 ou início de 2019.





Satélite CBERS-4 sendo colocado na coifa de lançamento do lançador Longa Marcha-4B/Inpe, 2014

Modelo Térmico do Satélite Amazônia-1 sendo montado no Laboratório de Integração e Testes do Inpe/Inpe, 2015



Amazônia-1 é um satélite de cerca de 700 kg, feito para orbitar a 750 km de altura. Ele terá capacidade de gerar novas imagens de qualquer parte do globo terrestre a cada cinco dias. Sua câmera de visada larga, com três bandas na radiação visível e uma na radiação infravermelha próxima, poderá observar uma faixa de 850 km com 60 m de resolução. Sua característica de revisita rápida permitirá o aprimoramento dos dados de alerta de desmatamento na Amazônia em tempo real, além de também fornecer imagens frequentes das áreas agrícolas brasileiras.

Já CBERS-4A é parte da segunda geração de satélites do programa CBERS, tem massa de 1.980 kg e irá operar numa órbita a 628 km de altitude. Será equipado com três câmeras ópticas, sendo uma chinesa e duas brasileiras, além do Sistema de Coleta de Dados e Monitor de Ambiente Espacial. A montagem do satélite está sendo concluída no Laboratório de Integração e Testes do Inpe e, após testes, ele será enviado à China para o lançamento.

Além dos satélites de sensoriamento remoto tradicionais, com médio e grande porte, o Brasil vem observando nesta década uma forte tendência de redução da massa de satélites para observação da Terra e utilização de satélites menores (até 150 kg) para várias aplicações. Para acompanhá-la, o país precisará se capacitar no desenvolvimento de micro e minissatélites, o que, por um lado, representa grande desafio para a indústria nacional e, por outro, é uma grande oportunidade para fomento de inovação tecnológica e engajamento da comunidade científica brasileira ao PEB.

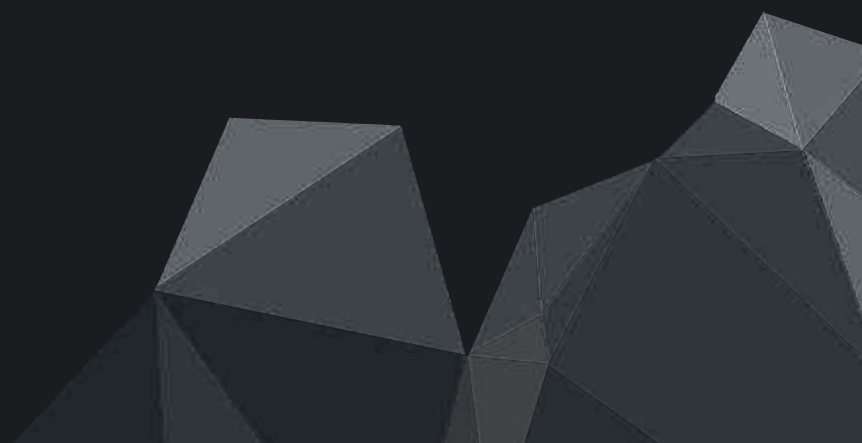
O aparecimento da plataforma modular CubeSat – um modelo padrão para montar satélites com a combinação de dois ou mais módulos com aproximadamente um quilo cada – e várias outras modalidades dos chamados nanosatélites acionou o interesse de vários grupos, em particular grupos universitários, em desenvolver satélites para diferentes aplicações, principalmente de caráter científico. Exemplos brasileiros são o ITASAT,<sup>[5]</sup> o SERPENS<sup>[6]</sup> e o NanoSatC-Br.<sup>[7]</sup> Em particular, o Centro Regional do Nordeste, do Inpe, está desenvolvendo o projeto de uma constelação de nanosatélites para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais.

Embora essa tendência estimule iniciativas independentes de diferentes grupos e a participação de pequenas empresas, parece necessário implementar um grau mínimo de coordenação entre elas, não somente sob a égide da AEB, mas utilizando a capacidade de projetar missões espaciais e de integração e testes de satélites do Inpe, de modo a ancorar projetos de maior folego e que permitam também a exploração de novas tecnologias, como a propulsão elétrica para satélites, área que o Inpe já vem pesquisando há vários anos.

Diante da nova tendência tecnológica de utilização de satélites menores, é importante fazer uma revisão detalhada das missões satelitais previstas para os próximos anos no PNAE. Em particular, com relação à prorrogação do programa CBERS após 2018, é necessário considerar alternativas à continuidade dos conceitos utilizados desde o CBERS-1.

A consolidação de um programa espacial brasileiro robusto só é factível se tiver forte enfoque no atendimento das demandas de aplicações civis e de defesa, e visar à obtenção gradativa da autonomia do país no desenvolvimento de sistemas espaciais. Do ponto de vista das missões satelitais, a prioridade inicial deve ser na observação da Terra no sentido amplo (sensoriamento remoto do solo, atmosfera e oceano).

Em um primeiro momento, aplicações em telecomunicações, meteorologia e geoposicionamento, que exigem sistemas mais complexos e/ou custosos, podem ser executadas por sistemas espaciais comerciais ou governamentais estrangeiros. No entanto, como já mencionado, várias aplicações relevantes para a sociedade estão se tornando possíveis utilizando satélites de menor porte e é necessário considerá-las seriamente em uma reestruturação do PEB. Especificamente, missões meteorológicas e a modernização do Segmento Espacial do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais poderiam ser já consideradas, dependendo da capacitação nacional no desenvolvimento de pequenos e médios satélites.



# PARA CHEGAR AO ESPAÇO

Todo satélite precisa ser lançado ao espaço. Os equipamentos usados para este fim, chamados veículos lançadores, precisam transmitir aos satélites energia suficiente para que iniciem sua órbita ao redor da Terra. No Brasil, o desenvolvimento desses artefatos começou com o desenvolvimento, o projeto e a fabricação do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1), iniciados em 1984. Esse projeto, que fez parte do programa da MECB, seguiu a premissa de que o sistema deveria fazer uso máximo da tecnologia, dos conhecimentos e das instalações já disponíveis no país. As tecnologias não dominadas seriam desenvolvidas no Brasil e, em último caso, adquiridas de outros países.

Duas tentativas de lançamento foram feitas sem sucesso em 1997 e 1999. Em 2003, após acidente com o terceiro protótipo, o VLS-1 passou por uma revisão completa com a participação de uma empresa russa. O projeto foi modificado, em especial no que diz respeito aos sistemas de redes elétricas e pirotécnicas, mas limitações orçamentárias e de recursos humanos atrasaram sua execução. Foi proposto, então, um novo projeto, o do Veículo Lançador de Microssatélites (VLM).

O VLM-1 está sendo projetado para ter capacidade de lançar cargas de 130 kg a 300 km de altitude. Embora o projeto esteja em fase preliminar, seu desenvolvimento é de grande prioridade e relevância, pois acredita-se que a demonstração da viabilidade tecnológica do projeto e, conseqüentemente, da possibilidade de acesso completo ao espaço utilizando esse veículo certamente poderá trazer mais visibilidade, investimentos e dividendos políticos internacionais ao país.

Apesar disso, é reconhecido que o VLM-1 não é comercialmente viável ou mesmo capaz de transportar as cargas úteis previstas no PEB, como o Amazônia-1. Por essa razão, foi conduzida uma série de análises sobre seu aprimoramento, cujos resultados indicam que seu desempenho pode ser largamente aprimorado, com incrementos pequenos no seu custo de desenvolvimento e fabricação, por meio de pequenas modificações em sua arquitetura. Assim, novos veículos foram propostos.

O Brasil também tem projetos na área de voos suborbitais, isto é, voos que sobem ao espaço mas não chegam a entrar em órbita, retornando à Terra. Um destaque é o foguete VSB-30, desenvolvido no país e largamente utilizado nos programas europeus de microgravidade. No futuro próximo, espera-se viabilizar a comercialização de *kits* instrucionais e do espaço em módulos de experimentos da Plataforma Suborbital de Microgravidade (PSM) a bordo do VSB-30, com vistas à utilização e ao maior envolvimento da indústria nacional no programa espacial brasileiro, ao treinamento das equipes operacionais dos institutos responsáveis pelos lançamentos e à integração de equipes de cientistas e pesquisadores brasileiros e estrangeiros.

Dois outros veículos de sondagem controlados também estão em desenvolvimento, VS-43 e VS-50. VS-43 será utilizado, por exemplo, para testar as redes elétricas e outros aspectos da nova família de lançadores baseada no VLM-1, incluindo a abertura de coifa e o sistema de ejeção da carga útil. VS-50, por sua vez, será responsável pela validação em voo de novos motores e equipamentos desenvolvidos em parceria com o Centro Aeroespacial Alemão.

Isto posto, nota-se que o programa brasileiro de veículos lançadores, apesar de estar sendo desenvolvido há mais de três décadas, ainda não atingiu sua principal meta, ou seja, o país ainda não domina a tecnologia de veículos capazes de colocar satélites em órbita. As recentes alternativas propostas para atingi-la são promissoras, mas é necessária melhor articulação do programa, no sentido de claramente definir a participação da indústria, além da indispensável garantia orçamentária.

# DESAFIOS EM INFRAESTRUTURA

A infraestrutura das atividades espaciais compreende instalações para desenvolvimento e produção, centros de lançamento e segmentos de solo para rastreamento, controle e aquisição de dados. Embora o número de instalações brasileiras possa parecer significativo, as mais importantes estão aquém das necessidades do PEB e várias delas não estão em condições operacionais satisfatórias.

## INFRAESTRUTURA PARA ATIVIDADES ESPACIAIS NO BRASIL

### **Desenvolvimento e produção**

- Laboratório de Integração e Testes do Inpe (LIT)
- Laboratório Associado de Combustão e Propulsão do Inpe (LCP)
- Banco de Testes com Simulação de Altitude do Inpe (BTSA)
- Usina de Propelentes Coronel Abner do DCTA (UCA)
- Laboratório de Identificação, Navegação, Controle e Simulação do DCTA/Inpe (LINCS)
- Prédio de Integração de Lançadores do DCTA (PIL)
- Laboratório de Ensaios Dinâmicos do DCTA (LED)

### Centros de lançamento

- Centro de Lançamento de Alcântara do DCTA (CLA)
- Centro de Lançamento da Barreira do Inferno do DCTA (CLBI)

### Segmentos de solo e de aplicações

- Estações de Rastreamento e Controle de Cuiabá e Alcântara (Inpe)
- Centro de Controle de Satélites do Inpe em São José dos Campos (CCS)
- Centro de Operações Espaciais em Brasília (Cope)
- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Inpe (Cptec)
- Sistema Integrado de Dados Ambientais AEB/Inpe (Sinda)

Por exemplo, a Estação de Rastreamento e Controle de Cuiabá está sofrendo problemas de ruído eletromagnético devido ao grande aumento no número de antenas de transmissão de sinais de telefones celulares nas redondezas. Além disso, seu atual sistema de recepção não será suficiente para fazer rastreamento e controle dos satélites Amazônia e CBERS-4A simultaneamente com os satélites SCDC-1 e 2 e CBERS-4, ainda em operação.

Por outro lado, um acidente com protótipo de veículo lançador em 2003 e posterior descontinuação da empresa Alcântara Cyclone Space acabaram por afetar substancialmente os promissores planos iniciais para consolidação do CLA como atrativa base de lançamentos, em concorrência com a base de Kourou, na Guiana Francesa. Embora a base continue operacional, é urgente modernizá-la e esquematizar novos planos de gestão e negócios, para viabilizar sua posição como um centro de lançamento de relevância internacional.

# FRUTOS DO PROGRAMA ESPACIAL

Ao longo de quatro décadas, o PEB permitiu ao Inpe desenvolver competências em engenharia de satélites, integração e testes, operação de satélites e centros de dados, sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, previsão de desastres naturais e instrumentação científica em ciências espaciais, entre outras. Quem ganha com isso é a sociedade brasileira, a quem o Inpe oferece diferentes serviços.

A Missão de Coleta de Dados, por meio de um sistema baseado na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) distribuídas pelo território nacional, objetiva fornecer ao país dados ambientais diários coletados nas diferentes regiões do Brasil. As PCDs são pequenas estações automáticas, geralmente instaladas em locais remotos, e os dados adquiridos por elas são enviados aos satélites, que os retransmitem às estações terrenas do Inpe, em Cuiabá e Alcântara. A partir daí, os dados são enviados para o Centro de Missão, em Cachoeira Paulista, onde é realizado o seu tratamento e a sua distribuição imediata aos usuários do sistema. Os usuários cadastrados recebem os arquivos com os dados já processados, através da internet.

Além da coleta de dados, duas aplicações satelitais altamente relevantes para a sociedade são a observação da Terra e o sensoriamento remoto. Já na década de 1970, o Inpe começou a desenvolver capacitação em recepção, tratamento e utilização de imagens, sendo o Brasil o terceiro país do mundo a receber e processar imagens dos primeiros satélites de sensoriamento remoto, ainda na década de 1970. O registro de longo prazo possibilita o acompanhamento das mudanças ambientais, urbanas e hídricas no país, com imagens disponibilizadas gratuitamente pelo Inpe.

Com o Programa CBERS, o Brasil ingressou no seleto grupo de países detentores da tecnologia de geração de dados primários de sensoriamento remoto. Um dos frutos principais dessa cooperação foi a obtenção de uma poderosa ferramenta para monitorar seu imenso território com satélites próprios de sensoriamento remoto.



---

Esses equipamentos trouxeram significativos avanços científicos ao Brasil, sendo que praticamente todas as instituições ligadas ao meio ambiente e recursos naturais são usuárias das imagens do CBERS, em áreas como controle do desmatamento e de queimadas na Amazônia Legal, monitoramento de recursos hídricos, observação de áreas agrícolas, acompanhamento do crescimento urbano e da ocupação do solo, além de aplicações em educação e inúmeras outras.

Apesar desses avanços, o Brasil está ainda muito aquém de ter um sistema satelital capaz de atender todas as necessidades nacionais em sensoriamento remoto, tanto para aplicações civis como de defesa. Uma das áreas em que o país ainda está atrasado é a utilização de imagens de radar para sensoriamento remoto, o que permite o monitoramento mesmo sob intensas condições de nebulosidade. Esse é um avanço fundamental nas regiões tropicais, onde a presença de nuvens é frequente, restringindo a utilização de sensores ópticos. Além disso, a informação fornecida pelo radar é importante na obtenção de dados geológicos, pois reflete a natureza elétrica e, especialmente, geométrica dos alvos contidos no terreno.

A utilização de imagens de radar para sensoriamento remoto, em especial dos satélites SAR (do inglês *Synthetic Aperture Radar*, ou radar de abertura sintética), tem aplicações importantes para a defesa nacional.<sup>[iv]</sup> Porém, embora o Brasil tenha especialistas capacitados para lidar com esse tipo de dado, não domina ainda a tecnologia necessária – uma meta já prevista no PNAE 2012-2021, mas que não foi colocada em prática.

Outra aplicação importante para a qual não há sistemas disponíveis é a meteorologia por satélite. Embora haja grande experiência acumulada na utilização de imagens de satélites para previsões meteorológicas, em particular no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Inpe,<sup>[8]</sup> o país não possui um sistema de radares meteorológicos. A tendência moderna de utilização de pequenos satélites é particularmente importante para esta aplicação, em que uma constelação de microssatélites pode ser empregada de forma bem mais vantajosa que um único satélite de maior porte. Um exemplo desse tipo de solução é o Projeto Cosmic,<sup>[9]</sup> uma colaboração entre Taiwan e Estados Unidos.

No Brasil, estão sendo conduzidos estudos sobre essa opção. Em 2013, a AEB estabeleceu um grupo de trabalho,<sup>[10]</sup> com membros da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Inpe, para estudar e propor alternativas de configuração para a missão de coleta de dados hidrometeorológicos.

# DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA ESPACIAL

Países detentores de uma indústria aeroespacial madura têm demonstrado crescente preocupação com a formulação de políticas de ciência e tecnologia e visões estratégicas de longo prazo que assegurem sua autonomia tecnológica e competitividade futuras. No caso do Brasil, o Decreto Nº 1.332, de 1994, que aprovou a atualização do PNDAE, já estabeleceu entre suas diretrizes o incentivo à participação industrial, que deve ser prevista de forma explícita nas propostas de novos programas. A indústria nacional deve ser vista não apenas como provedora de partes e equipamentos, mas também como partícipe ativa no desenvolvimento e na manufatura de sistemas, de forma integrada às instituições de pesquisa.

Inicialmente, o modelo adotado para promover a participação industrial foi ter o DCTA e o Inpe como gestores principais dos programas de desenvolvimento de veículos lançadores e satélites, promovendo contratos de encomendas específicas às empresas. Esse modelo, embora tenha permitido muitos avanços, não tem funcionado bem, especialmente devido a entraves relacionados ao marco legal, à incerteza orçamentária e à deficiência de gestores, que, além de pesquisadores, precisam também ser treinados em legislação, contratos, negociações, propriedade intelectual, tributação, comércio internacional e execução orçamentária federal.

No caso do desenvolvimento de satélites, uma iniciativa para resolver, ou pelo menos minorar, essas dificuldades foi a fundação da empresa Visiona Tecnologia Espacial, *joint venture* entre a Telebras e a Embraer S.A., que, no PNAE 2012-2021, passou a assumir o papel de contratante principal (*prime contractor*) de sistemas espaciais completos. Outros programas, no entanto, continuam sob gerência do Inpe.

É extremamente preocupante verificar que não estão bem definidos os papéis de empresas integradoras e institutos de pesquisa do Governo Federal na execução do PEB. A visão empresarial predominante é de que há necessidade de um novo modelo de governança e inserção industrial para o desenvolvimento das atividades espaciais brasileiras, com integração de outros segmentos do Governo na definição dos objetivos a serem alcançados e no financiamento dos projetos. O papel do Governo continuará preponderante; mas espera-se que haja uma empresa integradora brasileira capaz de capitanear as atividades industriais, colaborando com os institutos de pesquisa para o desenvolvimento de tecnologia de ponta de forma competitiva.



Com a introdução de novos conceitos produtivos herdados das indústrias eletrônica, aeronáutica e automobilística, os satélites futuros terão sua produção barateada e acelerada. Esse novo paradigma abre possibilidades encorajadoras para a continuidade de um volume de encomendas capaz de sustentar um desenvolvimento promissor da indústria aeroespacial brasileira. No entanto, para isso, é essencial rever profundamente o PNDAE, determinando claramente os papéis das empresas e dos institutos de pesquisa, assim como a interação entre esses atores.

# PESQUISA BÁSICA EM CIÊNCIAS ESPACIAIS

O Brasil tem ampla e internacionalmente respeitada tradição em pesquisa espacial, desde a ionosfera ao espaço profundo, passando pela magnetosfera e pela física solar, em particular em astrofísica e astronomia. No entanto, dentre os quatro grandes ramos de atividades espaciais não tripuladas realizadas a partir de satélites – telecomunicações e defesa, sensoriamento remoto, navegação e missões científicas – o país tem concentrado esforços apenas nos dois primeiros.

É importante para a consolidação do programa espacial brasileiro que sejam planejadas iniciativas nas áreas de ciências espaciais e atmosféricas, astronomia e física fundamental, envolvendo fortemente as universidades e os institutos de pesquisa. Isso aproximará o PEB da comunidade científica, promovendo maior intercâmbio de ideias e aumentando o potencial de inovação no setor espacial, além de conferir maior visibilidade às atividades espaciais.

A área de astronomia e astrofísica, em particular, é essencialmente uma ciência experimental e observacional, e os dados obtidos acima da camada atmosférica da Terra são absolutamente fundamentais para pesquisas atuais e futuras. O desenvolvimento de instrumentação espacial representou um importante passo no sentido de aumentar significativamente as observações astrofísicas nas regiões espectrais fortemente absorvidas pela atmosfera da Terra, levando a resultados importantes a respeito de uma grande variedade de objetos astrofísicos. Por outro lado, o estudo dos fenômenos que ocorrem no espaço sobre o território brasileiro é de clara importância estratégica, dado que esse espaço abriga fenômenos únicos, como a anomalia geomagnética do Atlântico Sul e as bolhas ionosféricas que interferem nas telecomunicações.

Atualmente, apenas uma missão científica nacional de maior porte está sendo planejada pelo Inpe: o satélite Equars,<sup>[1]</sup> para estudo de vapor d'água e convecção de nuvens na troposfera, variação da temperatura na estratosfera, propagação de ondas e temperatura na mesosfera e geração e propagação de bolhas de plasma na ionosfera.

Associadas às missões científicas espaciais, há oportunidades claras para avanços tecnológicos, seja no desenvolvimento de novos equipamentos a serem embarcados em satélites, foguetes de sondagem ou balões, seja no desenvolvimento de novas técnicas para obtenção e interpretação de dados. As missões de satélites científicos, com pequenas plataformas, por sua própria natureza de busca de novos conhecimentos, apresentam-se como altamente desafiadoras, exigindo, invariavelmente, alto grau de inovação tecnológica para a sua consecução.

É urgente, portanto, rever o PNDAE para incluir explicitamente missões científicas – que, aliás, foram as principais impulsionadoras do programa espacial brasileiro. Com sua retomada, seria possível abordar uma série de temas de interesse da sociedade brasileira, incluindo, por exemplo, investigações da região costeira e de biomas e fenômenos atmosféricos, ionosféricos e magnetosféricos.

#### PROPOSTA DE UMA POLÍTICA CIENTÍFICA NO ÂMBITO DAS ATIVIDADES ESPACIAIS

1. As atividades de investigação científica e de pesquisa básica na área espacial deverão ser mandatórias no âmbito da programação das atividades espaciais brasileiras.
2. Os programas mobilizadores que objetivam a promoção do avanço científico deverão conter objetivos claros, consequentes e meritórios, que imponham consideráveis desafios científicos e tecnológicos aos órgãos e às empresas incumbidos de sua execução.
3. Missões científicas deverão ser tratadas como experimentos científicos, com a definição clara das questões que se busca responder com cada missão.
4. O conjunto das questões que poderão ser objeto de missões científicas deverá ser atualizado com periodicidade definida e sua formulação deverá contar com a participação da comunidade científica nacional, em particular nos processos de proposição e avaliação dos resultados das missões científicas.

# PRIORIDADES PARA O PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

Como grandes metas para os próximos anos, a ABC sugere:

# 1

---

Ter domínio completo e soberano das tecnologias essenciais para desenvolvimento independente de sistemas espaciais relevantes para a sociedade brasileira, livre de controles externos. Especificamente, deve-se buscar a capacidade de projetar e produzir veículos lançadores capazes de colocar satélites em órbita e dominar completamente os sistemas de propulsão, controle e rastreamento de satélites. Mesmo considerando ser necessário e recomendável envolver intensamente a indústria nacional nesse esforço, o conhecimento basal dessas tecnologias deve estar ancorado em institutos de pesquisa diretamente ligados ao Governo Federal;

# 2

---

Estimular o desenvolvimento de satélites de pequeno porte, articulando as iniciativas do meio acadêmico com as de órgãos públicos e empresas, de forma a evitar duplicação de esforços e aumentar substancialmente as demandas à indústria aeroespacial brasileira;

---

# 3

---

Elaborar um programa de satélites científicos, de modo a estimular o desenvolvimento de novos avanços tecnológicos e aplicações. O uso de artefatos espaciais em pesquisa científica ainda é muito incipiente no Brasil, ao contrário do que acontece, por exemplo, na China, onde o satélite de comunicação quântica Micius, desenvolvido pela Academia Chinesa de Ciências, demonstrou a manutenção do emaranhamento quântico de partículas por distâncias acima de 1200 km;<sup>[v]</sup>

# 4

---

Apoiar o estabelecimento de parcerias envolvendo universidades e centros de pesquisa para, juntamente com o Inpe, desenvolverem ciência e tecnologia espacial, por meio de projetos de pesquisa científica e de inovação tecnológica.

## DESDOBRAMENTOS RECENTES

Desde a década de 1970, o Programa Espacial Brasileiro avançou substancialmente, produzindo resultados bastante relevantes para a sociedade. No entanto, nas últimas duas décadas, tem sofrido notável atraso com relação aos programas de outras nações que começaram praticamente junto com o Brasil, como Argentina, China e Índia. Além de orçamento e recursos humanos muito aquém dos necessários, há problemas de falta de definição de seus objetivos de longo prazo, incertezas sobre sua governança e sustentabilidade, em particular com relação à consolidação de uma indústria aeroespacial, e falta de inclusão clara de objetivos científicos e de domínio de todo o ciclo da tecnologia espacial.

Recentemente, em 6 de fevereiro de 2018, o presidente da República criou, pelo Decreto no 9.279, o Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro (CDPEB). Sua proposta principal é combinar os programas espaciais civil e de defesa em um, sob a governança de um Conselho Nacional do Espaço (CNE) presidido pela Casa Civil. Esse Conselho analisaria e aprovaria as propostas elaboradas em um órgão colegiado técnico, o Comitê Executivo do Espaço, presidido pela AEB e no qual a comunidade científica estaria representada por meio da ABC.

Para que esta proposta se viabilize, é essencial que seja amplamente discutida, em particular com as comunidades científica e empresarial. Notamos especialmente que, apesar de serem obviamente relevantes e necessárias as aplicações espaciais relacionadas à defesa, em quase todos os países com avançados programas espaciais, incluindo China, Estados Unidos e Europa, os programas civil e de defesa foram claramente separados. No caso do Brasil, se esses dois programas forem unificados, poderão aumentar ainda mais as restrições internacionais existentes para o fornecimento de componentes e a contratação de serviços, e será necessário estabelecer mecanismos eficazes para que as missões científicas propostas pelo meio acadêmico sejam adequadamente consideradas na tomada de decisões pelo conselho responsável por estabelecer a política de desenvolvimento espacial.

#### SUGESTÕES PARA LEITURA

FLORENZANO, T. G. **Os satélites e suas aplicações**. São José dos Campos: SindCT, 2008. Disponível em: <<http://www.sindct.org.br/files/satelites.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

OECD. **Space and Innovation**, Paris: OECD Publishing, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264264014-en>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

OECD. **The Space Economy at a Glance**, Paris: OECD Publishing, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264217294-en>>. Acesso em: 18 abr. 2018.



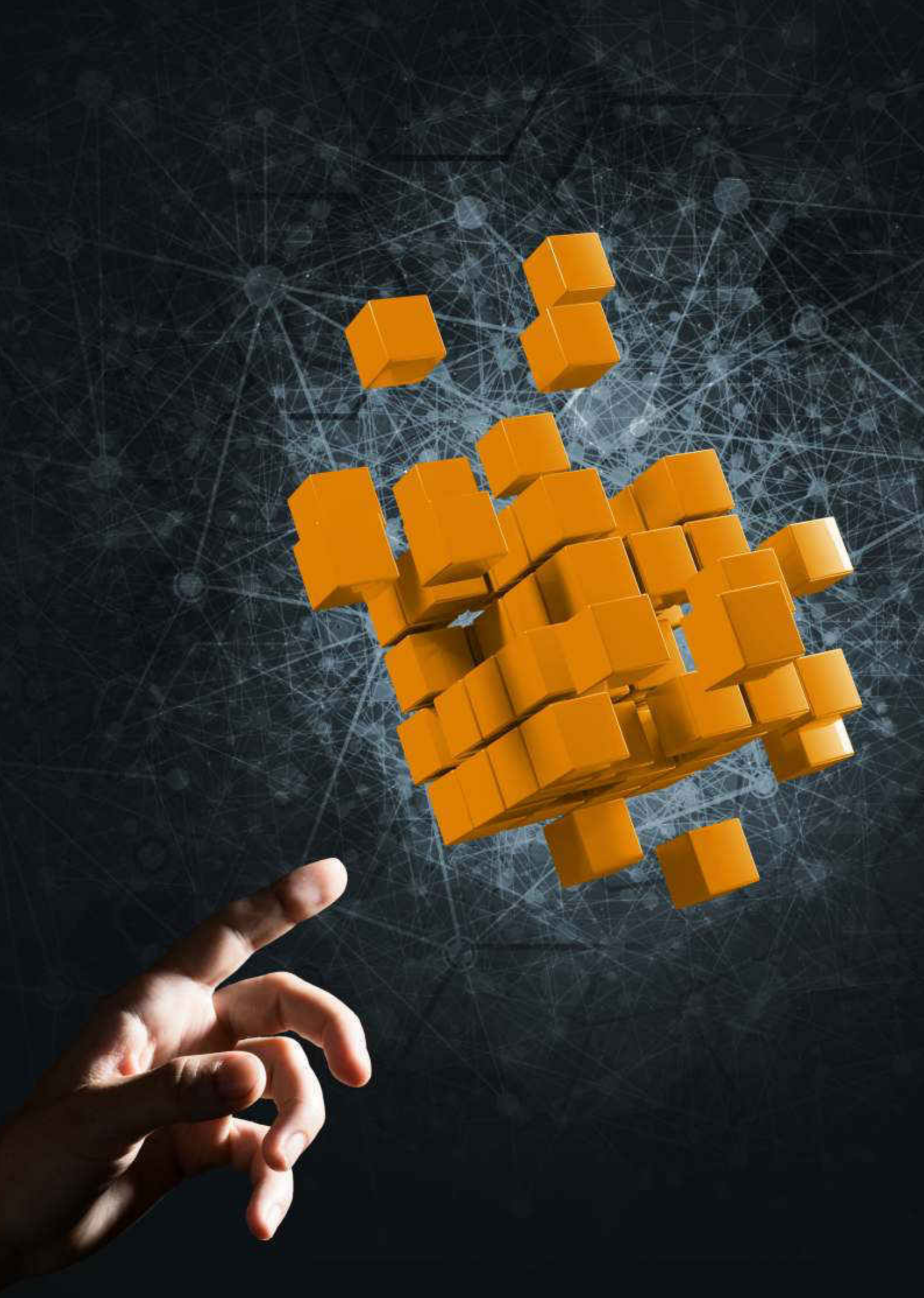
PALMÉRIO, A. F. **Introdução à tecnologia de foguetes**. 2. ed. São José dos Campos: SindCT, 2017. Disponível em: <<http://www.sindct.org.br/files/livrofoguetes.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

SELLERS, J. J. **Understanding Space: An Introduction to Astronautics**. 2. ed. Boston: McGraw Hill, 2004. 656p.

- 
- [1] Mais informações em: <<http://www.cbbers.inpe.br/>>.  
[2] Mais informações em: <<http://www.aeb.gov.br/vbs-30/>>.  
[3] Saiba mais em: <<http://www.aeb.gov.br/conselho-superior/>>.  
[4] Saiba mais em: <<http://www.inpe.br/amazonia-1/>>.  
[5] Mais informações em: <<http://www.itasat.ita.br/>>.  
[6] Mais informações em: <<http://www.aeb.gov.br/?s=serpens>>.  
[7] Mais informações em: <<http://www.inpe.br/crs/nanosat/>>.  
[8] Mais informações em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>.  
[9] Mais informações em: <<http://www.cosmic.ucar.edu/>>.  
[10] Mais informações em: <<http://www.aeb.gov.br/viabilidade-e-alternativas-de-configuracao-de-microsatelites-para-contribuir-na-missao-da-agencia-nacional-de-aguas/>>.  
[11] Mais informações em: <<http://www.dae.inpe.br/equars/>>.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] SPACE FOUNDATION. **The Space Report**: The Authoritative Guide to Global Space Activity. Colorado Springs: Space Foundation, 2016.
- [ii] AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa Nacional de Atividades Espaciais**: PNAE 2012 - 2021. Brasília: AEB/MCTI, 2012. 37 p. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2013/03/PNAE-Portugues.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2018.
- [iii] OECD. **The Space Economy at a Glance**. Paris: OECD Publishing, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264217294-en>>. Acesso em: 18 abr. 2018.
- [iv] PARADELLA, W. R. et al. Mapping surface deformation in open pit iron mines of Carajás Province (Amazon Region) using an integrated SAR analysis. **Engineering Geology**, [s.l.], v. 193, p.61-78, jul. 2015. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.04.015>>.
- [v] CASTELVECCHI, D.. China's quantum satellite clears major hurdle on way to ultrasecure communications. **Nature**, [s.l.], 15 jun. 2017. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nature.2017.22142>>.



---

# 15

## NOVAS TECNOLOGIAS PARA O SÉCULO XXI

---

TRÊS ÁREAS EM QUE O BRASIL DEVE INVESTIR  
SE DESEJA ASSUMIR POSIÇÃO COMPETITIVA  
NOS MERCADOS GLOBAIS

**S**e a pesquisa básica é a raiz do conhecimento científico, as tecnologias são seus frutos. Nas décadas futuras, eles surgirão a partir das perguntas respondidas nas instituições de pesquisa, motivados pelos grandes desafios que a humanidade enfrenta ou enfrentará, como produção de alimentos, insumos para saúde, energia limpa, dispositivos eletrônicos superiores e novos materiais. A corrida por novas soluções tecnológicas para esses e outros desafios é global, mas especialmente relevante para o Brasil.

Um dos maiores problemas da economia brasileira é sua crescente perda de competitividade, em especial nos setores de média e alta intensidade tecnológica. A carência de tecnologias corre o risco de atrasar, ainda, o agronegócio, uma das principais atividades produtivas brasileiras, que poderia ser beneficiada por uma série de avanços em biotecnologia, por exemplo, como sugerido no **Capítulo 6**. Além de produtos, o país precisa repensar sua forma de produzir energia, como já foi discutido no **Capítulo 10** deste livro. A saúde, tema do **Capítulo 2**, é outra área em que as novas tecnologias podem promover uma verdadeira revolução.

Em todos esses setores, para manter ou assumir posição de destaque no cenário global, o Brasil precisará promover a modernização de seus parques industriais, com a implementação de uma política industrial arrojada e eficiente e investimentos maciços em ciência, tecnologia e inovação, além de recursos para a capacitação de pessoal em nível de pós-graduação nas áreas científicas e tecnológicas. Embora sejam muitas as áreas temáticas que podem se beneficiar desse processo, a ABC selecionou três temas de impacto para o futuro próximo: ciência dos dados, inteligência artificial e cibersegurança; novos materiais e novos dispositivos; e biologia de sistemas e biotecnologia. A seguir, algumas sugestões para o fortalecimento dessas áreas no Brasil.

# CIÊNCIA DOS DADOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

As tecnologias digitais têm imenso potencial transformador, capaz de gerar benefícios sociais e econômicos. Elas podem revolucionar o trabalho, a educação, o lazer, a comunicação e a própria maneira de se fazer ciência. Têm, portanto, um papel chave no desenho do futuro do país.

## TECNOLOGIAS PARA UM BRASIL MAIS RICO

As tecnologias computacionais – e, em particular, a inteligência artificial – podem ter impacto no aumento de produtividade e na inovação em áreas-chaves da economia brasileira, como a agricultura e o setor de petróleo. Recentemente, a Embrapa, junto com a iniciativa privada, desenvolveu tecnologia baseada em inteligência artificial para análise de solos, capaz de produzir resultados em poucos segundos. Já a colaboração entre universidades e a Petrobras, em projetos de pesquisa e desenvolvimento com uso de inteligência artificial, criou soluções inovadoras para a indústria do petróleo, em áreas como análise de reservatórios, projeto de *layout* submarino, exploração e produção.

Trabalhos em computação geram resultados teóricos e aplicados que podem contribuir para o aumento da produtividade e da prosperidade econômica, para a melhoria das oportunidades educacionais e da qualidade de vida e para a maior segurança interna do país. Por isso, é fundamental que o Brasil invista recursos em pesquisas avançadas nessas áreas, como também na formação de capital humano qualificado.

## CIÊNCIA DOS DADOS

---

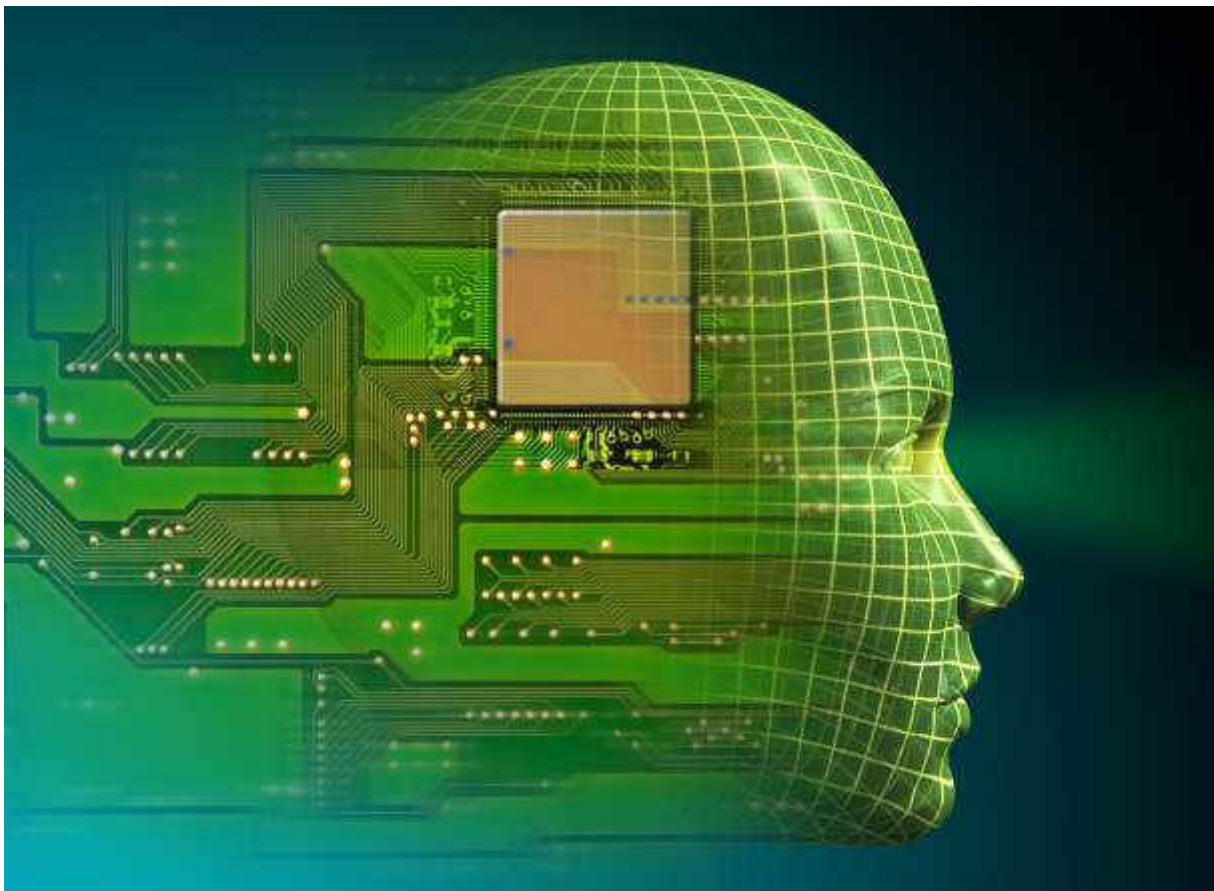
Dados digitais fazem parte de praticamente todas as atividades intelectuais. Na comunidade científica, a pesquisa tem se baseado em dados digitais gerados por equipamentos e também dispositivos eletrônicos que permeiam a sociedade contemporânea. O uso e a análise de dados digitais têm ampliado as abordagens fundamentais da ciência, sejam elas teóricas ou baseadas em processos experimentais. Na indústria, no comércio e nos serviços, os dados digitais têm sido a base para o desenvolvimento de tecnologias disruptivas, geradoras de riqueza e de novos modelos de negócios. Em suma, a explosão de dados digitais tem causado transformações em todas as áreas da economia e da sociedade. Como resultado, surgiu um novo campo de estudos: a ciência dos dados, que consiste em processos e sistemas que permitem a extração de conhecimentos de várias formas de dados, estruturados ou não. Trata-se de um campo multidisciplinar que integra conhecimentos de algoritmos, estatística, mineração de dados e modelos matemáticos. Seu desenvolvimento é cada vez mais crucial para a educação e para a comunidade científica. Assim, o país precisa ter planos para formar uma força de trabalho de profissionais capazes de usar dados para suas tarefas intelectuais. Além disso, é preciso buscar o avanço do campo da ciência de dados, de modo a apoiar o papel crescente dos dados digitais em todas as áreas da ciência e da sociedade.

---

# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ROBÓTICA

---

Pesquisa, educação e formação de recursos humanos são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de realizar uma ampla variedade de tarefas inteligentes e para o desenvolvimento de modelos computacionais de comportamento em todo o espectro da inteligência humana. Alguns exemplos de tópicos relacionados a sistemas inteligentes incluem agentes inteligentes, aprendizado de máquina, *deep learning*, metodologias de representação do conhecimento e arquiteturas para combinar tarefas inteligentes como percepção, raciocínio, planejamento, aprendizado e ação. Muitos desses temas serão essenciais para o diagnóstico e a tomada de decisão em domínios complexos de tarefas em vários campos, como medicina, engenharias, ciências sociais e humanas. Máquinas inteligentes e robôs já superaram os humanos no desempenho de várias tarefas relacionadas à inteligência, por exemplo, no reconhecimento de imagens, em certos tipos de diagnósticos médicos, na previsão de eventos futuros ou no controle dos carros autônomos. O efeito central da evolução acelerada da inteligência artificial virá da automação de tarefas que até então não podiam ser automatizadas, com a substituição de mão de obra humana por robôs, máquinas inteligentes, algoritmos e *softwares*.





# ALGORITMOS

---

O eixo fundamental para o avanço da ciência dos dados e da inteligência artificial está centrado nos algoritmos. Assim, é fundamental apoiar a pesquisa básica em algoritmos, complexidade e otimização. Deve-se, também, apoiar o desenvolvimento de algoritmos para outras áreas da computação, como criptografia, linguagens, compiladores, segurança de computadores e redes. Algoritmos voltados para grandes massas de dados são também chave para o desenvolvimento de bases de dados, robótica, visão computacional, redes de sensores, dispositivos móveis, internet e aprendizado de máquinas. A pesquisa em algoritmos deve contemplar, ainda, outras áreas da ciência, como compreensão de sistemas biológicos por meio da modelagem, simulação e desenho de algoritmos e desenvolvimento de técnicas e metodologias para obter conhecimento sobre os sistemas biológicos na sua totalidade, incluindo a estrutura dos genes, a descoberta de proteínas de genes e a análise de sequências genéticas. Novas áreas, como a computação quântica, irão necessitar de novas classes de algoritmos.







# CIBERSEGURANÇA

---

A dependência cada vez mais acentuada da internet e das redes de comunicação mostra que a segurança cibernética é central para a estabilidade, a prosperidade e a competitividade do país e para a segurança da sociedade brasileira. Na medida em que as infraestruturas críticas do país, como energia elétrica, sistema financeiro, transportes e comunicações, se tornam dependentes de redes públicas e privadas, o potencial de impacto generalizado resultante da interrupção ou da falha da internet também aumenta significativamente. Ataques de vírus e outros tipos de *malware* podem ocasionar prejuízos enormes. Por isso, é fundamental avançar em pesquisas que abordem a complexidade e as constantes mudanças nos cenários virtuais. Seria importante, por exemplo, modelar como as pessoas aplicam ou usam tecnologias de segurança, com o objetivo de criar sistemas de defesa mais racionais e inteligentes. O Brasil precisa de ciência e tecnologia para construir proteções eficazes para o ciberespaço brasileiro.



# NOVOS MATERIAIS E DISPOSITIVOS

Na história da humanidade, costuma-se nomear os períodos de evolução com o nome dos materiais desenvolvidos pelo homem – assim, houve a idade da pedra, a idade do bronze e a idade do ferro. O desenvolvimento nas técnicas de manufatura de materiais como metais, cerâmicas e vidros pode ser considerado uma das formas mais antigas de engenharia e ciência aplicada. Nos últimos séculos, foram desenvolvidos novos tipos de materiais, como o aço e os plásticos, que se encontram na maioria dos produtos utilizados no dia a dia da população. Com o desenvolvimento da nanotecnologia, tem sido possível produzir novos materiais com propriedades ainda superiores às dos materiais convencionais, que serão amplamente usados nas tecnologias das próximas décadas.

Quanto ao desenvolvimento de dispositivos, um dos maiores avanços do século XX foi a criação do transistor, elemento básico de um dispositivo eletrônico. Mais tarde, o uso do silício propiciou uma grande revolução da eletrônica e da informática. Outros materiais semicondutores propiciaram o desenvolvimento dos chamados LEDs (diodos emissores de luz) e dos lasers compactos, que estão cada vez mais presentes em diferentes tipos de produtos. Mas, para que a revolução na informática continue com o mesmo padrão de crescimento, será necessário desenvolver novos tipos de dispositivos eletrônicos mais rápidos e eficientes do que os atuais. É fundamental que o Brasil domine as técnicas de projetar e fabricar novos tipos de dispositivos, fundamentais para desenvolver novas tecnologias.

---

## ENERGIA

---

A energia é dos problemas mais importantes a serem enfrentados hoje pela humanidade. Nesse sentido, um enorme desafio é a geração de energia limpa e renovável, que não faça uso de recursos fósseis como petróleo, gases, carvão e outros. A geração de novos dispositivos e materiais tem um papel crucial na superação desse desafio, pois ainda hoje as formas de geração de energia limpa são menos eficientes e mais caras do que as convencionais, o que leva à necessidade de explorar novas soluções tecnológicas. Além da produção de energia, seu armazenamento e sua distribuição também podem se beneficiar de novas tecnologias. Dispositivos que transformem energia solar em energia elétrica, novas baterias e materiais supercondutores são alguns exemplos de inovações promissoras. Para o sucesso dessas alternativas, são necessários investimentos em pesquisa nas áreas de dispositivos conversores e armazenadores de energia e, sobretudo, nos materiais ativos e passivos que compõem esses dispositivos.

---

## NOVOS MATERIAIS

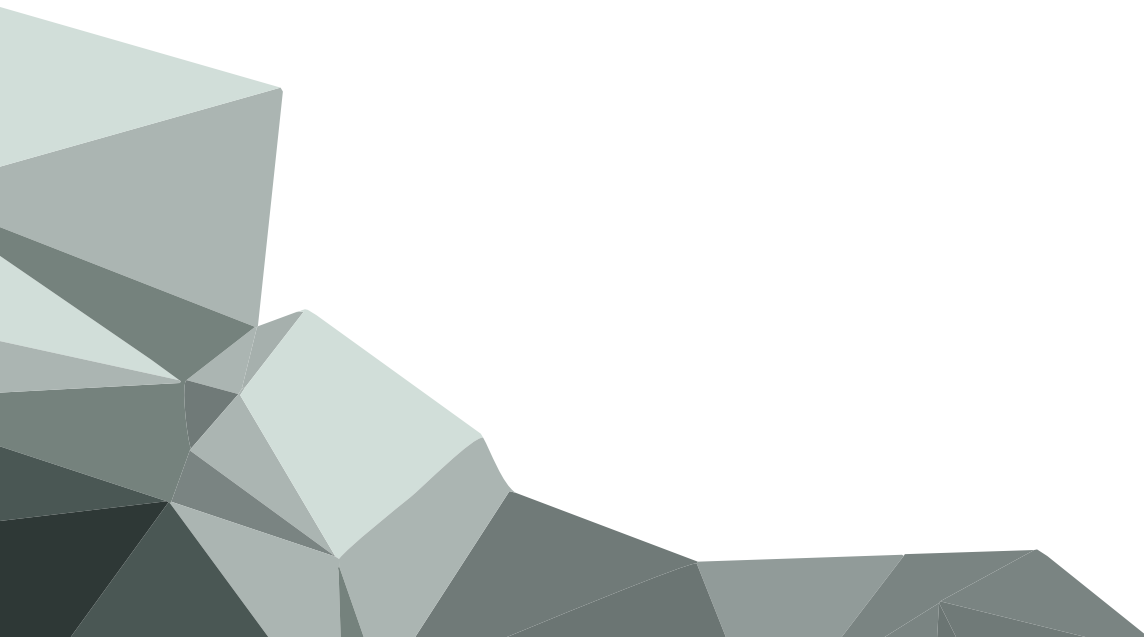
---

O avanço de novas tecnologias está intimamente ligado ao desenvolvimento de novos materiais, que superem os atuais em termos de propriedades ou de produção ambientalmente e economicamente sustentável. Plásticos, cerâmicas, vidros e metais podem ser aperfeiçoados, por exemplo, com o auxílio das nanotecnologias. É o que acontece nos nanocompósitos, misturas bastante homogêneas de diferentes tipos de nanomateriais (como nanotubos, nanopartículas, grafeno etc.) com materiais convencionais (plásticos, cerâmicas, cimento etc.). Essa mistura confere aos materiais novas propriedades, como flexibilidade e resistência, que são úteis em várias aplicações industriais. Espera-se, ainda, o desenvolvimento de novos materiais supercondutores que sejam usados em temperaturas ambientes e possam auxiliar o armazenamento de energia e o desenvolvimento de uma nova geração de equipamentos, como aparelhos de ressonância magnética e outros.

## USO EFICIENTE DOS RECURSOS NATURAIS

---

Em um mundo de população crescente, o uso racional dos recursos naturais é necessidade de primeira ordem. A ciência e a tecnologia podem contribuir para o aproveitamento eficiente desses recursos, a começar pela mensuração precisa de sua disponibilidade. Modelos para simulações de caráter preditivo também auxiliam a gestão de longo prazo. A otimização dos processos industriais, minimizando o consumo específico dos insumos (água, energia, matérias-primas e outros), com ampliação do reuso e da reciclagem, bem como do aproveitamento de subprodutos e de rejeitos, é outra área de destaque, além da agregação de valor aos recursos naturais como minerais e biodiversidade, com desenvolvimento de produtos com maior conteúdo tecnológico e novos materiais. Novas tecnologias são necessárias, ainda, para a ampliação e a sustentabilidade do agronegócio, preservando a saúde do solo e minimizando o impacto ambiental. A química e a engenharia de processos e de produtos assumem um papel fundamental em todas essas aplicações. A chamada química verde é baseada em matérias-primas provenientes de fontes renováveis, e cujo produto final não impacte o meio ambiente – por exemplo, evitando a formação de subprodutos tóxicos e poluentes e fomentando a fabricação de materiais biodegradáveis.



---

## DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E *HARDWARES* PARA COMPUTAÇÃO

---

O elemento básico de um processador é o transistor, e os atuais dispositivos eletrônicos são baseados em materiais de silício. O número de transistores em um processador tem crescido de forma exponencial nas últimas décadas – um processador de última geração tem, hoje, mais de um bilhão de transistores –, o que só é possível porque, a cada ano, consegue-se diminuir o tamanho do transistor, que hoje é de poucas dezenas de nanômetros. Um transistor é constituído de várias partes, e algumas delas já são tão pequenas que contêm alguns poucos átomos. Assim, a compactação da tecnologia de transistores baseados no silício está chegando no limite atômico. Por isso, será necessário o desenvolvimento de novos tipos de dispositivos que venham a substituir os atuais processadores e circuitos integrados. Esse processo passará pela nanotecnologia e por dispositivos com maior desempenho e menor consumo de energia do que os atuais. Vários estudos têm sido dedicados a moléculas que possam desempenhar a função de um transistor. Por outro lado, os materiais unidimensionais, como os nanotubos de carbono, e bidimensionais (2D) com espessuras atômicas, como o grafeno e outros, serão uma rota para o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos mais eficientes. Essas novas tecnologias possibilitarão também o desenvolvimento de sensores químicos e sensores de gases. A computação quântica, baseada em novos tipos de algoritmos não binários e que fazem uso de propriedades quânticas, também vai requerer o desenvolvimento de dispositivos físicos. Outras áreas que impactarão a tecnologia serão baseadas no *spin* dos elétrons (propriedade elementar associada ao magnetismo) e nos fótons (partículas de luz). Dispositivos flexíveis, baseados em materiais orgânicos, novos diodos emissores de luz (LEDs) e novos sensores para biodiagnósticos estão, ainda, no alvo do desenvolvimento tecnológico.

# BIOLOGIA DE SISTEMAS E BIOTECNOLOGIA

Com o grande aumento na quantidade de informações sobre as células e o avanço na capacidade de analisar grande volume de dados, a biologia de sistemas passou ser uma estratégia de pesquisa dominante na medicina, na biologia e na biotecnologia. Ela procura entender e prever o comportamento de sistemas biológicos em resposta a diferentes perturbações, como, por exemplo, o contato com um patógeno, uma vacina, um câncer ou uma droga, ou mesmo uma mudança no ambiente da célula.

## CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Todos os avanços tecnológicos devem ser acompanhados de pesquisas sobre segurança, em especial no caso da edição de genes, que envolve a manipulação e o espalhamento de novos genes nas populações. É imprescindível, nesse contexto, o debate sobre questões éticas na medicina, principalmente nas pesquisas de manipulação de embriões e do uso de células-tronco. Paralelamente ao estímulo ao desenvolvimento dessas novas tecnologias no país, as agências reguladoras e outros órgãos governamentais, juntamente com a sociedade, precisam estar atentos para que essas pesquisas sejam desenvolvidas sob condições que garantam a sua segurança e eficácia. Portanto, a definição de um marco regulatório no país é também condição fundamental para que as pesquisas e aplicações desta tecnologia possam se tornar realidade.

---

Multidisciplinar, a biologia sistêmica envolve modelagem computacional e matemática para integrar dados de expressão global de genes (transcriptoma), proteínas (proteoma) e vias metabólicas (metaboloma). Baseado na ideia de que o todo é maior do que a soma das partes, este ramo do conhecimento procura avaliar, ao mesmo tempo, todos os componentes de um sistema biológico e como eles interagem entre si. Assim, permite grandes avanços no entendimento de como uma célula ou sistemas complexos funcionam, como é o caso da resposta imunológica contra um patógeno ou de circuitos neuronais envolvidos no processo de cognição. Como consequência, a biologia de sistemas passou a ter grande impacto no desenvolvimento de novas tecnologias, assim como no desenvolvimento de insumos biológicos e novos fármacos.

## GENÔMICA

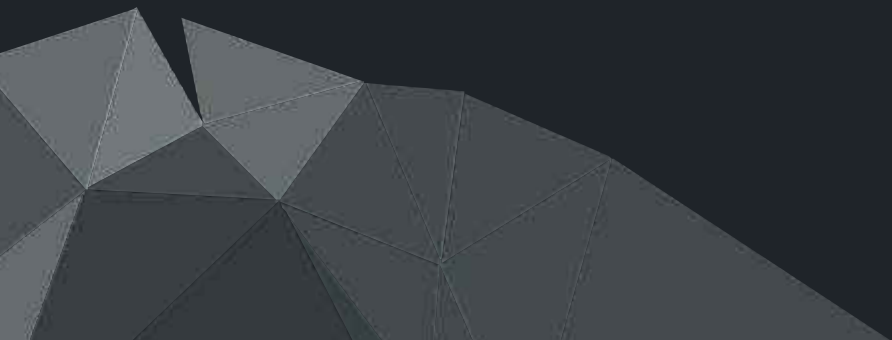
---

Desde a década de 1950, sabemos que a molécula de DNA é o material genético dos seres vivos. A partir daí, o conhecimento da genômica avançou rapidamente, até que, em 2003, o Projeto Genoma Humano anunciou um grande marco nessa área, a descrição completa dos genes da espécie. Atualmente, a tecnologia já permite a análise de genomas em uma questão de dias e com baixo custo. Porém, novos desafios surgiram. Foi estabelecido recentemente o mapa epigenômico humano, que permitirá definir o papel de alterações epigenéticas (ou seja, aquelas que não alteram a sequência do DNA, mas que são importantes mudanças nos genomas responsáveis pela regulação da expressão dos genes). Embora todas as células de um organismo possuam o mesmo genoma, falta entender como o aumento ou a diminuição da expressão de cada gene varia entre elas, o que vai elucidar os processos responsáveis pela diferenciação celular que leva à formação dos organismos multicelulares, ao envelhecimento ou ao aumento da resistência ou da susceptibilidade às doenças. Pesquisas sobre o transcriptoma e o proteoma das células têm permitido, por sua vez, grandes avanços na identificação e na caracterização funcional de genes, muitos dos quais envolvidos em doenças humanas hereditárias. Novas tecnologias tornam possível, ainda, o diagnóstico simultâneo de várias doenças infecciosas e a identificação de mutações e variantes genéticas para confirmação do diagnóstico ou avaliação da predisposição ou resistência a enfermidades em humanos, animais ou plantas.

## MANIPULAÇÃO E EDIÇÃO DE GENOMAS

---

Uma vez conhecidos a estrutura dos genomas e os mecanismos básicos do seu funcionamento, os cientistas passaram a desenvolver metodologias que lhes permitiram manipular, de forma controlada, o genoma das células, com o objetivo de entender como funcionam as células e reprogramá-las para produzir novas substâncias, impedir o aparecimento de uma determinada característica, corrigir erros ou mutações indesejáveis etc. Graças a técnicas de engenharia genética, desde os anos 1990, já é possível produzir vários medicamentos a partir de bactérias e outras células, desenvolver variedades de plantas resistentes a pragas, produzir alimentos com maior valor nutricional e detectar doenças com mais rapidez e acurácia. A recente descoberta de uma tecnologia revolucionária denominada CRISPR-Cas9, que permite a introdução, substituição ou remoção de sequências específicas no DNA em basicamente qualquer organismo, permitirá avanços ainda mais espetaculares nas pesquisas básicas sobre o genoma, como, por exemplo, o entendimento do papel de muitos genes cuja função ainda não foi esclarecida. CRISPR-Cas9 tem ainda enorme potencial de aplicação em várias áreas e deve assumir, nas próximas décadas, um papel central nas pesquisas voltadas para o controle e o tratamento de doenças e no desenvolvimento de novos produtos agropecuários.





---

## MICROSCÓPIOS DE SUPER-RESOLUÇÃO E SISTEMAS DE IMAGEM *IN VIVO*

---

Avanços em microscopia e computadores para o processamento de imagens, como a microscopia confocal multifóton e a criomicroscopia eletrônica, permitiram a visualização de eventos e estruturas dentro de tecidos vivos, numa resolução cada vez maior. Possibilitaram, portanto, a visualização de células e organelas não mais em um tubo de ensaio ou em uma lâmina, mas sim dentro de seu contexto natural, isto é, nos organismos vivos. Associadas à tecnologia recombinante e à geração de animais e plantas transgênicos que expressam marcadores fluorescentes, as técnicas de imagem permitem visualizar, por exemplo, a troca de informação célula-célula durante uma resposta inflamatória, filmar diferentes células se movimentando por vasos sanguíneos e até medir o trânsito de receptores da superfície celular. O uso de sistemas de imagem não invasivos permite a visualização do organismo em uma abordagem sistêmica durante vários dias ou meses, o que pode ajudar a esclarecer como diferentes medicamentos ou parasitos e células tumorais se distribuem pelo corpo ao longo do tempo. Recentemente, uma técnica revolucionária permitiu tornar os tecidos de um animal transparentes e, assim, visualizar órgãos ou sistemas inteiros expressando proteínas fluorescentes. Além de permitir o avanço no entendimento de processos biológicos *in vivo*, esta técnica é compatível com tecidos humanos, e pode ser prontamente usada em várias aplicações biomédicas.

## CÉLULAS-TRONCO, ENGENHARIA DE TECIDOS E TRIAGEM DE DROGAS

---

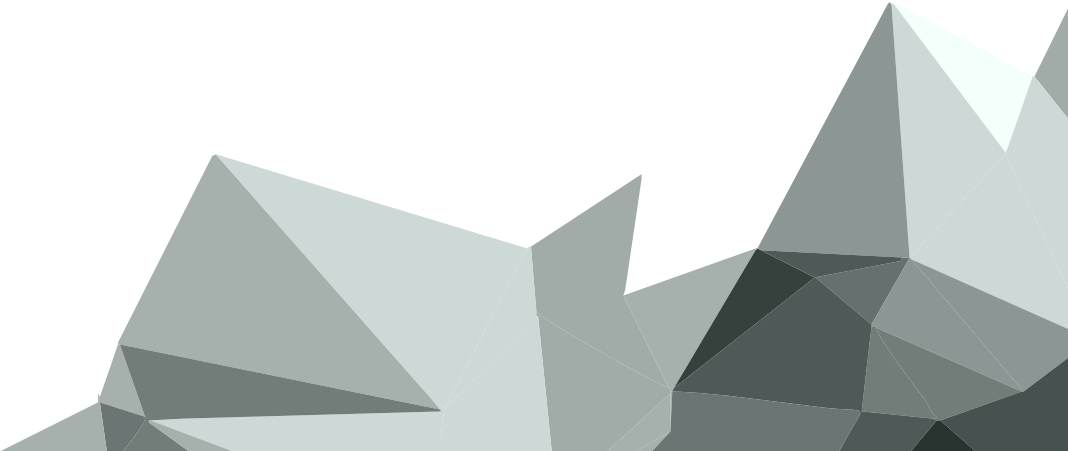
Uma das grandes descobertas da última década foram as células de pluripotência induzida (iPS, na sigla em inglês), técnica em que uma célula já diferenciada pode ser reprogramada e tornar-se pluripotente, ou seja, capaz de diferenciar-se em qualquer tecido. Pesquisas com essas células irão revolucionar a medicina regenerativa. Mais recentemente, mostrou-se também que células-tronco adultas, as chamadas células-tronco mesenquimais, secretam proteínas com efeito terapêutico, o que abre caminho para outras tantas aplicações. A possibilidade de gerar diferentes tecidos e, futuramente, órgãos a partir de células iPS do próprio indivíduo, aliando biologia celular e bioengenharia, é promissora para substituir os transplantes por meio da reconstituição de tecidos danificados, sem risco de rejeição. A tecnologia de reprogramação celular, juntamente com a tecnologia de CRISPR-Cas9, permite pesquisar diferentes estratégias de terapia gênica e correção de mutações responsáveis por doenças genéticas, incluindo o câncer. Além disso, a triagem de inúmeras drogas, utilizando tecnologias em larga escala, permitirá avanços muito mais rápidos na descoberta de novos medicamentos contra doenças que atingem um tecido específico (por exemplo, neurônios dopaminérgicos na doença de Parkinson), com uso reduzido de pesquisas em modelos animais.

---

## MODELOS ANIMAIS HUMANIZADOS

---

Uma das mais importantes aplicações da tecnologia de edição gênica utilizando CRISPR-Cas9 está no avanço nos projetos de humanização de modelos experimentais, assim como no transplante de órgãos entre animais de espécies distintas (xenotransplante). Atualmente, grande parte dos esforços voltados para a humanização de modelos experimentais tem se baseado na implantação de células e órgãos humanos em camundongos imunodeficientes. Porém, frequentemente, o funcionamento do tecido transplantado não ocorre de forma adequada, como é o caso do sistema imunológico, ou a implantação ocorre de forma parcial. Com a emergência do sistema CRISPR, torna-se possível a manipulação em larga escala de genes em modelos experimentais, com a introdução de ou substituição por genes humanos, o que deve permitir um avanço na criação de melhores modelos humanizados. Esses modelos irão permitir não só o entendimento do funcionamento de sistemas e órgãos humanos, mas também ensaios pré-clínicos para testes de drogas e vacinas com maior capacidade de predição e aplicação para o seu funcionamento em seres humanos. Além disso, espera-se que a humanização de suínos gere grandes avanços na área de xenotransplantes, ao possibilitar a substituição de genes suínos por genes humanos, levando, assim, a uma maior compatibilidade entre o órgão transplantado e seu doador.



## IMUNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE VACINAS

---

A biologia de sistemas aplicada ao desenvolvimento de vacinas, ou vacinologia de sistemas, é uma área que emergiu na última década e tem dado importantes contribuições para aumentar o poder preditivo da imunologia. Seus estudos estão permitindo a identificação de antígenos críticos de patógenos ou células tumorais, novos adjuvantes imunológicos e também o melhor entendimento dos mecanismos de defesa do organismo humano. Em consequência, espera-se avançar no desenvolvimento racional de novas vacinas, assim como no aumento da segurança e da eficácia das vacinas existentes.

## DIAGNÓSTICO

---

Grandes avanços na medicina e, em particular, na área de diagnóstico têm sido possíveis graças ao acúmulo de dados (*big data*) oriundos dos projetos “ômicos” que permitem, por exemplo, identificar sequências únicas no genoma provenientes de patógenos ou mutações associadas a doenças hereditárias humanas. A associação com as novas tecnologias obtidas pela física e pela ciência dos materiais está produzindo resultados importantes para o diagnóstico de inúmeras doenças por meio de testes rápidos capazes de detectar múltiplas doenças. Graças ao desenvolvimento tecnológico, hoje é possível distribuir dispositivos de diagnóstico rápido e preciso para uma série de doenças a áreas isoladas e com pouca infraestrutura laboratorial. Literalmente, é um laboratório em um *chip*, ou seja, todas as etapas necessárias para a realização de um teste de diagnóstico convencional são integradas em um dispositivo automatizado. Com esse sistema, é possível diagnosticar, com uma gota de sangue, de maneira precisa e em poucos minutos, um quadro febril exantemático, uma infecção viral ou um quadro de sepses em infecção hospitalar, para citar apenas alguns exemplos. Além das aplicações no diagnóstico de doenças infecciosas, esses testes têm amplas aplicações no diagnóstico de síndromes respiratórias, doenças genéticas e câncer, além de aplicações na medicina personalizada, que utiliza informações genéticas individuais para coordenar e melhorar as decisões de cuidados de saúde e tratamento para o paciente.

---

# REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS

Nos últimos anos, o Brasil conseguiu avançar em áreas de pesquisa de ponta. Por exemplo, a comunidade científica brasileira acompanhou o desenvolvimento das novas tecnologias utilizadas em projetos de genoma, transcriptoma e proteoma. Mas, se, por um lado, há massa crítica formada na área, por outro, é importante que o parque de equipamentos disponíveis não fique defasado. É, portanto, fundamental a adequação da infraestrutura para que seja possível – usando um exemplo da mesma área – assimilar técnicas sequenciamento de nova geração, o que viabilizaria pesquisas sobre mudanças epigenéticas e estudos a partir de material genético extraído de uma única célula. Da mesma forma, o aprimoramento da infraestrutura necessária para a utilização de técnicas de citometria de fluxo associadas a espectrometria de massa e técnicas de imageamento será fundamental para que os grupos no país possam ampliar os estudos voltados para o entendimento de sistemas complexos *in vivo*.

## INVESTIR É PRECISO

Anualmente, o governo federal dos Estados Unidos investe US\$ 31 bilhões (0.9% do PIB) nos Institutos Nacionais de Saúde (NIH, na sigla em inglês), responsáveis pelo financiamento de toda pesquisa na área da saúde do país. Este valor não inclui os investimentos de pesquisa no setor de agropecuária.

Se aplicássemos o mesmo percentual do PIB no caso do Brasil, isso corresponderia a um investimento anual de R\$ 13 bilhões para o desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação nas áreas biomédicas e de biotecnologia. Considerando a realidade brasileira, incluindo a massa crítica existente, mas também o atraso tecnológico e a infraestrutura altamente defasada, é razoável pensar que um investimento anual em torno de R\$ 12 bilhões, distribuídos entre os ministérios de Educação, Saúde, Agricultura e Ciência e Tecnologia, poderiam ter grande impacto nos programas de pesquisa científica, tecnológica e de inovação na área de saúde e agronegócio.

A biologia experimental no Brasil está altamente defasada quanto à capacidade de gerar modelos experimentais transgênicos ou *knockouts*. Mas essa situação pode ser revertida, por exemplo, com o estabelecimento de competência na área de edição gênica pela tecnologia CRISPR-Cas9, associado à melhoria das condições de trabalho para a criação e a manutenção de animais de experimentação. Essa mudança trará benefícios não somente para os grupos que dependem da biologia experimental básica, mas também para grupos que buscam desenvolver modelos experimentais e suínos humanizados com aplicações diretas nas áreas de saúde e agropecuária. Com relação ao desenvolvimento de vacinas, além das metodologias já descritas, é fundamental a implantação de plantas para a produção de partidas pilotos de antígenos recombinantes em boas práticas de laboratório. Para que ensaios clínicos possam ser feitos com maior frequência no país, é importante também ampliar o número de laboratórios que possam realizar testes de toxicidade pré-clínicos.

---

Em relação à área de dispositivos e novos materiais, nos últimos anos, foram criados vários laboratórios em diferentes regiões do Brasil, com instrumentos sofisticados para a análise de materiais e dispositivos, como microscópicos eletrônicos e outros. Todos esses equipamentos necessitam de manutenção, e é fundamental que não faltem recursos para que essa infraestrutura esteja sempre em operação. Como já mencionado neste livro, está em fase final de construção o projeto Sirius, nova fonte de luz síncrotron brasileira que será a maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no país. É fundamental que se destine os recursos necessários para que o Sirius entre em funcionamento no prazo previsto. Além disso, é também necessária a criação de infraestruturas modernas de salas limpas para a fabricação de dispositivos em escala nanométrica.

Por fim, como em muitos outros setores, na criação de novos dispositivos e materiais é fundamental que haja maior interação entre os trabalhos realizados na academia e as demandas concretas do setor industrial. Deve ser estimulada a criação de centros de tecnologia que façam a ponte entre esses dois mundos, com foco em produtos em que já há um interesse imediato de uma empresa. Tais centros visariam otimizar o aumento da escala de laboratório para a escala industrial, além de viabilizar comercialmente o produto, por meio da diminuição de custos dos insumos e processos. Ainda no contexto da interação entre empresa e indústria, vale ressaltar que as procuradorias jurídicas das instituições federais precisam ter visão de longo prazo, considerando que a transferência de tecnologias geradas nessas instituições para empresas privadas pode resultar em grandes ganhos para ambas.

A ABC acredita que já existem, nas universidades e institutos de pesquisa brasileiros, profissionais competentes em todas as disciplinas necessárias para o estabelecimento dessas novas tecnologias. Faltam, entretanto, investimentos governamentais para a melhoria da infraestrutura e, para as etapas de desenvolvimento tecnológico, um maior interesse por parte do setor produtivo. Para que o Brasil avance no mesmo passo dos países desenvolvidos na criação de novas tecnologias, é essencial criar programas específicos voltados para os temas descritos neste capítulo, com garantia de recursos não somente para melhorar a infraestrutura dos laboratórios, mas também recursos de custeio e bolsas de estudos para que jovens pesquisadores possam obter esse treinamento no país ou no exterior e desenvolver pesquisas de qualidade, com garantia de financiamento em médio e longo prazos.

Para o fortalecimento desta área, são necessários investimentos na criação de programas de formação e pesquisa com focos específicos. A ABC sugere como prioridades as seguintes iniciativas:

1

---

Criar um programa nacional para formação multidisciplinar em nível de pós-graduação em ciência dos dados;

2

---

Desenvolver programa de pesquisa com foco em ciência de dados e suas aplicações em outras áreas da ciência (por exemplo, biomédicas, engenharias, saúde, ciências agrárias, física, química e ciências sociais e humanas);

3

---

Instituir um programa nacional de formação e pesquisa para algoritmos e tecnologias para inteligência artificial, em áreas como aprendizado de máquina e *deep learning*;

4

---

Implementar um programa nacional e multidisciplinar para pesquisa em cibersegurança envolvendo áreas como engenharias, computação, matemática, física e ciências sociais;

5

---

Aumentar o investimento em pesquisa e desenvolvimento na área de novos materiais e nanodispositivos, sem comprometer os investimentos em ciência básica, por meio de editais universais;

6

---

Fortalecer programas conjuntos entre a academia e empresas, financiados por fundos não reembolsáveis, como o Fundo Tecnológico (Funtec) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES);



---

7

---

Fomentar a criação de cursos de empreendedorismo nos cursos de pós-graduação;

8

---

Criar um programa nacional para formação multidisciplinar, em nível de pós-graduação, em nanotecnologia, que supere as barreiras clássicas da ciência natural em física, química e biologia;

9

---

Fortalecer diferentes grupos em todas as regiões do Brasil, em vez de concentrar recursos em alguns poucos centros do Sudeste;

10

---

Fortalecer e aumentar programas de formação na área de bioinformática e aprendizado de máquina, que, com o avanço da biologia de sistema e a análise de *big data*, passaram a ter papel central na biomedicina;

11

---

Investir na formação de pessoal e na indução de pesquisa na área de manipulação e edição gênica em vertebrados;

12

---

Formar pessoal e melhorar a infraestrutura para o desenvolvimento de animais geneticamente modificados e humanizados – uma área extremamente carente, que representa, hoje, uma das grandes barreiras para o desenvolvimento de pesquisa de ponta em biomedicina no Brasil;

# 13

---

Implementar redes nacionais multidisciplinares para fortalecer infraestrutura e programas de pesquisa que utilizem microscópios de super-resolução, imageamento *in vivo* e *lab-on-chip* envolvendo áreas como engenharias, computação, matemática, física e ciências biológicas.

## SUGESTÕES PARA LEITURA

ABARRATEGI, A. et al. Modeling the human bone marrow niche in mice: From host bone marrow engraftment to bioengineering approaches. **The Journal Of Experimental Medicine**, [s.l.], v. 215, n. 3, p.729-743, 16 fev. 2018. Rockefeller University Press. <<http://dx.doi.org/10.1084/jem.20172139>>.

ATWATER, H. A.; POLMAN, A.. Plasmonics for improved photovoltaic devices. **Nature Materials**, [s.l.], v. 9, n. 3, p.205-213, 19 fev. 2010. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nmat2629>>.

BOHANNON, J.. The cyberscientist. **Science**, [s.l.], v. 357, n. 6346, p.18-21, 6 jul. 2017. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.357.6346.18>>.

BRYNJOLFSSON, E.; MITCHELL, T.. What can machine learning do? Workforce implications. **Science**, [s.l.], v. 358, n. 6370, p.1530-1534, 21 dez. 2017. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.aap8062>>.

BUBNOVA, O.. Nanoelectronics: A 2D microprocessor. **Nature Nanotechnology**, [s.l.], 5 maio 2017. Springer Nature.  
<<http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2017.94>>.

GEIM, A. K.; GRIGORIEVA, I. V.. Van der Waals heterostructures. **Nature**, [s.l.], v. 499, n. 7459, p.419-425, jul. 2013. Springer Nature.  
<<http://dx.doi.org/10.1038/nature12385>>.

HEEREMA, S. J.; DEKKER, C.. Graphene nanodevices for DNA sequencing. **Nature Nanotechnology**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.127-136, fev. 2016. Springer Nature.  
<<http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2015.307>>.

HOCKEMEYER, D.; JAENISCH, R.. Induced Pluripotent Stem Cells Meet Genome Editing. **Cell Stem Cell**, [s.l.], v. 18, n. 5, p.573-586, maio 2016. Elsevier BV.  
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.stem.2016.04.013>>.

LIBBRECHT, M. W.; NOBLE, W. S.. Machine learning applications in genetics and genomics. **Nature Reviews Genetics**, [s.l.], v. 16, n. 6, p.321-332, 7 maio 2015. Springer Nature.  
<<http://dx.doi.org/10.1038/nrg3920>>.

LU, W.; LIEBER, C. M.. Nanoelectronics from the bottom up. **Nature Materials**, [s.l.], v. 6, n. 11, p.841-850, nov. 2007. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nmat2028>>.

MALTA, T. M. et al. Machine Learning Identifies Stemness Features Associated with Oncogenic Dedifferentiation. **Cell**, [s.l.], v. 173, n. 2, p.338-354, abr. 2018. Elsevier BV.  
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2018.03.034>>.

MAZUTIS, L. et al. Single-cell analysis and sorting using droplet-based microfluidics. **Nature Protocols**, [s.l.], v. 8, n. 5, p.870-891, 4 abr. 2013. Springer Nature.  
<<http://dx.doi.org/10.1038/nprot.2013.046>>.

NAKAYA, H. I.; PULENDRAN, B.. Vaccinology in the era of high-throughput biology. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 370, n. 1671, p.20140146-20140146, 11 maio 2015. The Royal Society.  
<<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0146>>.

NATURE METHODS (EDITORIAL). Method of the Year 2015. **Nature Methods**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.1, jan. 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nmeth.3730.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2018.

NATURE.COM. **CRISPR**. 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/collections/cpzkgghnlg/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

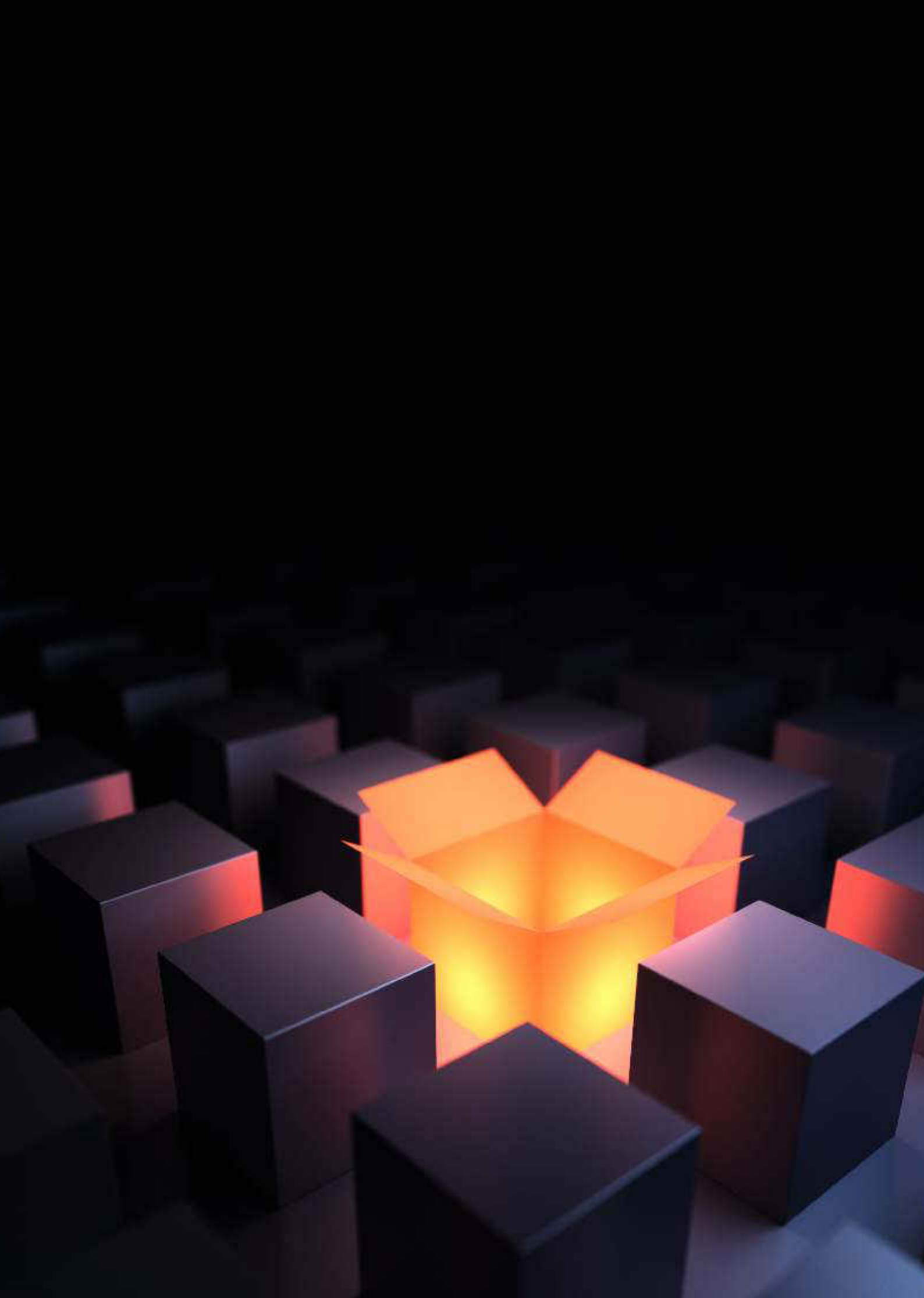
NATURE.COM. **Nanocomposites**. Disponível em: <<https://www.nature.com/subjects/nanocomposites>>. Acesso em: 01 maio 2018.

NATURE.COM. **Systems biology**. Disponível em: <<https://www.nature.com/subjects/systems-biology>>. Acesso em: 01 maio 2018.

SCIENTIFIC REPORTS. **2D Materials and Heterostructures**. 2018. Disponível em: <<https://www.nature.com/collections/lbtcvbtfpj/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

THE ROYAL SOCIETY. **Machine learning**: the power and promise of computers that learn by example. London: The Royal Society, 2017. 128 p. Disponível em: <<https://royalsociety.org/~media/policy/projects/machine-learning/publications/machine-learning-report.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2018.





---

# 16

## O CAMINHO DA INOVAÇÃO

---

BRASIL PRECISA INCLUIR ENTRE AS SUAS PRIORIDADES  
A APROXIMAÇÃO DO CONHECIMENTO CIENTÍFICO  
DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS PRÁTICOS DO PAÍS

**N**a história da humanidade, a capacidade de inovar tem sido fundamental para alinhar o conhecimento da natureza à capacidade de se adaptar ao meio ambiente.<sup>[i, ii]</sup> Hoje, é também fundamental na criação de um projeto de nação: países inovadores alcançam desenvolvimento econômico e social mais harmônico e sustentável.

Atualmente, a inovação está associada à educação e ao nível de desenvolvimento científico e tecnológico das sociedades.<sup>[iii]</sup> Nações com um nível educacional mais elevado e em estágios mais avançados de desenvolvimento científico e tecnológico tendem a ser mais inovadoras e, por conseguinte, mais competitivas, o que está diretamente relacionado ao nível de prosperidade que pode ser alcançado por uma economia.<sup>[iv]</sup>

Situado entre as dez maiores economias do mundo, o Brasil tem grande disponibilidade de recursos naturais, um enorme potencial para as energias renováveis e um sistema de pós-graduação bem estruturado, amplo e eficiente que o coloca entre os 15 países que mais geram conhecimento científico. Por outro lado, apresenta acentuada desigualdade econômica, social e regional; infraestrutura operacional não condizente com suas dimensões e necessidades; predominância de um emaranhado jurídico-institucional incompatível com o desenvolvimento de um Estado moderno; e baixo índice de escolaridade. Adicionalmente, a cultura científica inovadora é pouco difundida na sociedade brasileira e o empreendedorismo tecnológico é incipiente.

Ao longo dos anos, ainda que tenha iniciado tardiamente a instalação de universidades, o Brasil foi capaz de construir um sistema nacional de ciência e tecnologia atuante, com grande diversidade e capilaridade. Mas é necessário aperfeiçoar este sistema e superar alguns obstáculos. Por exemplo, a maioria dos pesquisadores e cientistas atua nas universidades, o setor industrial brasileiro investe pouco em pesquisa e desenvolvimento e as relações entre o setor privado e as instituições de ciência e tecnologia, sobretudo as universidades e instituições públicas de pesquisa, precisam trabalhar de forma mais orgânica. A combinação desses fatores tem impedido que a boa ciência desenvolvida no Brasil seja amplamente convertida em benefícios econômicos e sociais. Assim, não se pode dizer ainda que o Brasil seja um país competitivo em escala global. Para que isso se torne realidade, será necessário aperfeiçoar o sistema nacional de ciência e tecnologia e superar alguns obstáculos, como os baixos investimentos do setor industrial em pesquisa e desenvolvimento e as relações de desconfiança entre o setor empresarial e as instituições de ciência e tecnologia.



# O BRASIL NO PANORAMA INTERNACIONAL

No cenário global, competitividade e inovação caminham juntas – basta observar, na tabela, as várias coincidências entre os países líderes no Índice de Competitividade Global e no Índice Global de Inovação.

## Classificação do Brasil e dos primeiros dez países de acordo com:

(A) índice de competitividade global e (B) índice global de inovação (2017)

A		B	
País	Classificação	País	Classificação
Suíça	1	Suíça	1
EUA	2	Suécia	2
Cingapura	3	Holanda	3
Holanda	4	EUA	4
Alemanha	5	Reino Unido	5
Hong Kong	6	Dinamarca	6
Suécia	7	Cingapura	7
Reino Unido	8	Finlândia	8
Japão	9	Alemanha	9
Finlândia	10	Irlanda	10
Brasil	80	Brasil	69

Fontes:

[A] SCHWAB, 2017<sup>[xi]</sup>

[B] DUTTA; LANVIN; WUNSCH-VINCENT, 2017<sup>[xii]</sup>

O Brasil não está entre os mais bem colocados em nenhum dos dois índices, ocupando 80ª posição entre os 137 países analisados no índice de competitividade global e 69ª (de 127) no índice de inovação.

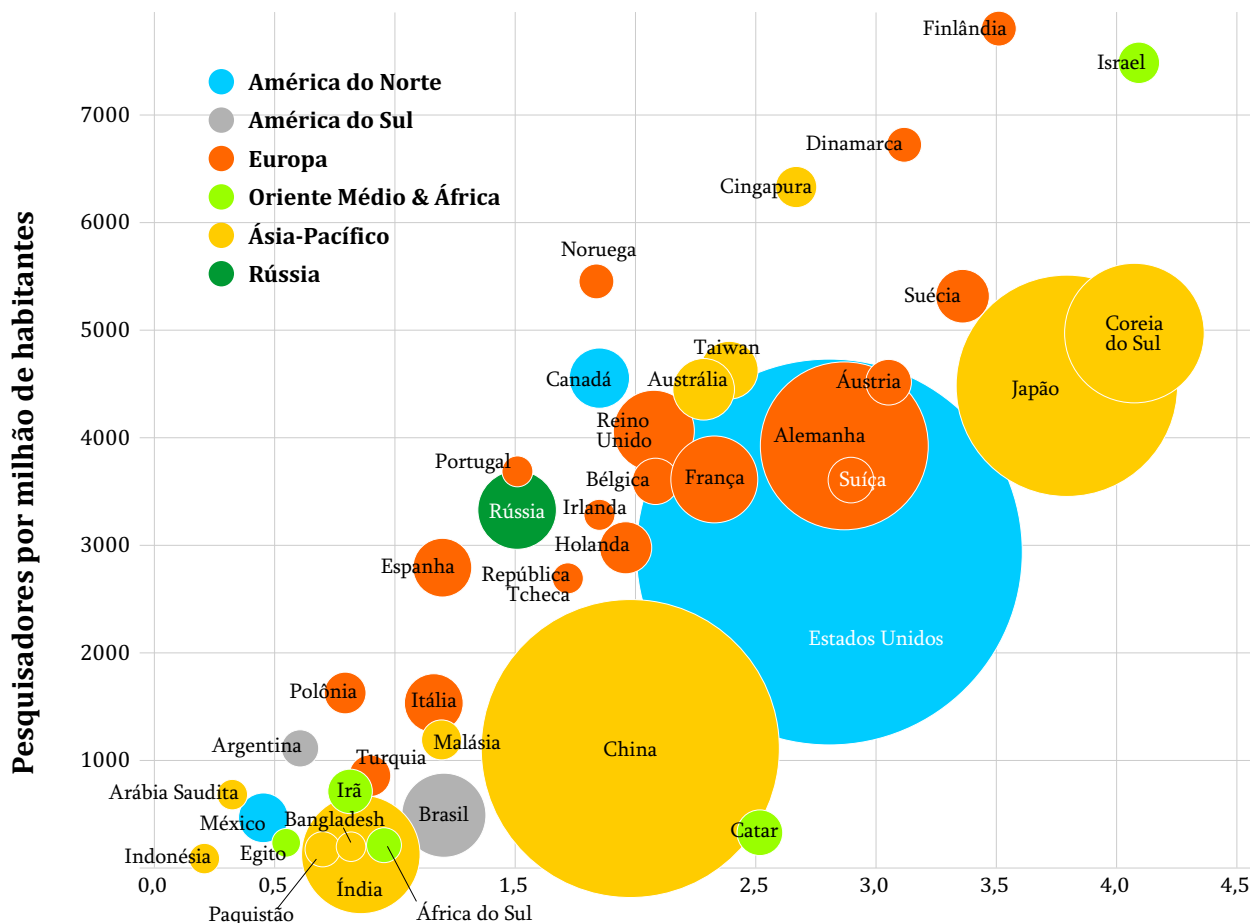
Os principais entraves para que o Brasil cresça em competitividade estão associados à infraestrutura, à ineficiência burocrática, ao intrincado componente regulatório e à carga fiscal. Quanto à inovação, além das fragilidades mencionadas, há outras associadas ao ambiente de negócios, que dificulta, por exemplo, a criação de uma empresa ou a resolução de uma insolvência, e à dificuldade em se obter microfinanciamentos a juros adequados.

Considerando que a educação é a força motora do potencial de uma nação, a baixa posição do Brasil no Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (Pisa)<sup>[1]</sup> também é particularmente preocupante. O exemplo da Coreia do Sul, que, no período de menos de quatro décadas, se transformou em uma nação com elevados índices de competitividade e inovação, mostra que políticas acertadas para a educação produzem impactos transformadores e conduzem ao desenvolvimento econômico e social.

Outro *ranking* mundial que aponta indicadores interessantes é o Índice do Bom País, que avalia o desempenho dos países em termos das contribuições oferecidas para a melhoria das condições de vida da população mundial.<sup>[2]</sup> Em um total de 163 países, o Brasil ocupa a 80ª posição, com melhor desempenho em saúde e bem-estar e pior desempenho em prosperidade e igualdade – categoria em que está na 162ª posição.

Por fim, o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e o número de cientistas e engenheiros são dois fatores cruciais para alavancar a inovação tecnológica e a competitividade de um país. Os países mais competitivos tecnologicamente são os que mais investem em P&D relativamente ao seu Produto Interno Bruto (PIB), e que também possuem um número maior de cientistas e engenheiros (veja a figura ao lado). Em termos absolutos, os países que mais investem em P&D são Estados Unidos, China, Japão, Alemanha, Coreia do Sul e Índia – os quatro primeiros são, na mesma ordem, as maiores economias mundiais. Em percentagem do PIB, os países que mais investem em P&D (entre 3,0 e 4,0%) são Israel, Coreia do Sul, Japão, Finlândia, Suécia, Dinamarca e Áustria.

## Quantidade de cientistas e engenheiros em função do investimento em pesquisa e desenvolvimento para diferentes países (2014)



### Percentual dos dispêndios em P&D em relação ao PIB

*O tamanho do círculo reflete o dispêndio anual em pesquisa e desenvolvimento pelo país indicado.*

*Observação: o número de pesquisadores de Israel foi corrigido em relação à figura original. Fonte: GRUEBER, 2014<sup>[xiii]</sup>*

No Brasil, em 2014, investia-se 1,2% do PIB em P&D e havia cerca de 600 cientistas e engenheiros por milhão de habitantes – número que hoje é próximo de 700. Esses dados indicam o enorme esforço que será necessário para atingir patamares mais próximos dos países líderes. Recentemente, o financiamento público para ciência e tecnologia sofreu um contingenciamento ainda maior, na contramão do caminho que o país precisaria seguir para crescer em competitividade. O ideal seria ter como meta um investimento de 2,0% do PIB em P&D e um quantitativo de 3 mil cientistas e engenheiros por milhão de habitantes, o que requer intensas políticas de incentivo a essas carreiras.

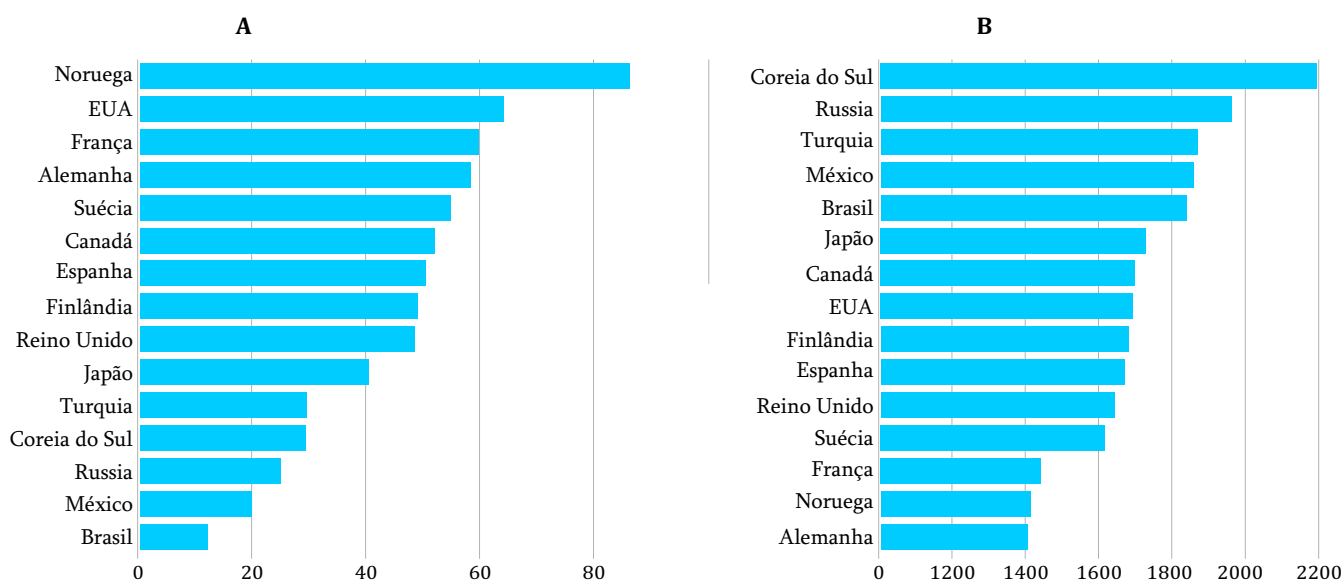
Registre-se aqui o grande esforço que é realizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) para melhorar e ampliar o ensino de engenharia no Brasil, destacando-se uma proposta para aumentar o número de concluintes,<sup>[v]</sup> e, mais recentemente, o esforço da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), ligada à Confederação Nacional da Indústria, para aprimorar a qualidade do ensino de engenharia, estimular projetos de inovação e aumentar o interesse por cursos superiores tecnológicos.

A evolução do número total de concluintes de cursos de graduação em engenharia no Brasil também é um fator crítico. Em 2016, o Brasil formou 126 mil engenheiros, o que representa 10,8% do total de formandos em nível superior (1,169 milhões). Este é um feito notável, considerado as dimensões territoriais do país: os números triplicaram desde 2000.

A formação de engenheiros em quantidade e qualidade elevadas representa um grande desafio. Várias são as iniciativas a serem adotadas nesta frente, incluindo a criação de novos cursos, a redução da evasão de estudantes, a reavaliação das diretrizes curriculares, o estímulo à formação de engenheiros e o aumento da integração entre o setor industrial e os cursos de engenharia.

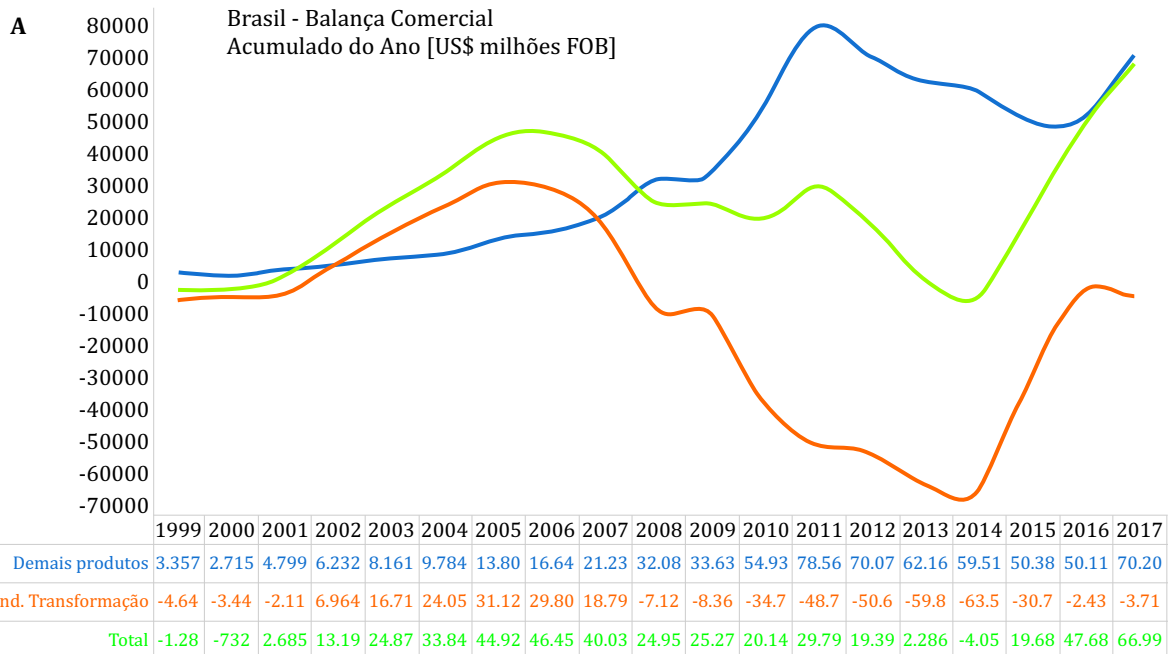
Outro aspecto de grande importância para a inovação e a competitividade é a produtividade do trabalhador. Países com níveis de educação mais elevados possuem trabalhadores mais instruídos e mais qualificados tecnicamente: enquanto, na Noruega, um trabalhador gera US\$ 87 por hora trabalhada, no Brasil, o trabalhador gera US\$ 11 no mesmo período.<sup>[vi]</sup> Note-se, ainda, que o trabalhador brasileiro trabalha em média 1.850 horas por ano – mais que o americano (1.700) ou o alemão (1.400) –, porém, países onde a produtividade do trabalhador é maior tendem a apresentar um menor número de horas trabalhadas.

### Produtividade do trabalhador em diferentes países

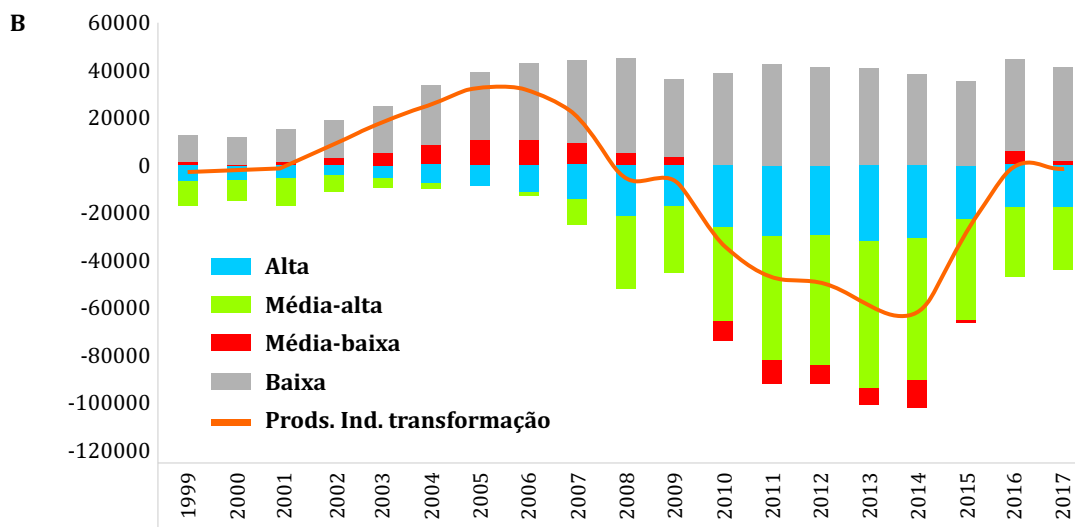


(A) PIB por hora trabalhada em US\$ e (B) Média de horas trabalhadas por pessoa por ano.  
 Fonte: OECD, 2014<sup>[xiv]</sup>

## Dados da balança comercial do Brasil



## Brasil - Produtos da Indústria de Transformação por Intensidade Tecnológica Balança Comercial - Acumulado do Ano [US\$ milhões FOB]



A) Valor total da balança comercial brasileira acumulada no ano e sua divisão nos produtos industrializados e produtos não industrializados e B) Valor dos produtos industrializados separados pelas intensidades tecnológicas.

Fonte: IEDI, 2018<sup>[xv]</sup>

Por fim, vale notar o impacto que os fatores supracitados produzem na balança comercial brasileira. A curva que representa a exportação de produtos não industrializados está tipicamente acima da curva que representa os produtos industrializados.<sup>[vii]</sup> Na categoria de produtos com alta e média-alta industrialização, a balança comercial brasileira sempre foi deficitária. Ou seja, o país tem competitividade na exportação de minerais e produtos agrícolas, mas não no comércio de produtos industrializados com alto valor tecnológico. A solução desse gargalo de competitividade é urgente, e somente o desenvolvimento tecnológico intensivo e a inovação poderão fazer com que o Brasil se torne superavitário em sua balança comercial para produtos com alta e média-alta industrialização.

## EXEMPLOS BRASILEIROS DE SUCESSO

Tanto nos setores governamentais como nos privados, a percepção de que o Brasil precisa avançar no campo da inovação está cada vez maior. Adicionalmente, a importância da educação em todos os níveis para que o país seja mais competitivo tecnologicamente tem sido progressivamente reconhecida.

Apesar das fragilidades na educação básica e no ensino superior, o Brasil tem um sistema nacional de pós-graduação amplo e bem estruturado, que vem se espalhando cada vez mais pelas diferentes regiões do país. A primeira defesa de dissertação de mestrado em um curso de pós-graduação brasileiro ocorreu em 1963 e, de lá para cá, em menos de 60 anos, o país foi capaz de construir um sistema de pós-graduação que se tornou referência mundial. Se, em 1987, o Brasil formava cerca de 4 mil mestres e 1,2 mil doutores, em 2016 esses números haviam crescido para quase 49 mil e 20,5 mil, respectivamente, conforme a base de dados da Capes.

---

Esse aumento é fruto de uma política contínua e bem-sucedida conduzida pela Capes, que resultou também no crescimento vertiginoso da quantidade de artigos científicos publicados por pesquisadores brasileiros – entre 2010 e 2016, o número de trabalhos aumentou 63%. Paralelamente, ampliou-se o sistema de universidades federais, responsáveis pela maior parte dos programas de pós-graduação, com melhoria na distribuição dos cursos entre as diferentes regiões do país.

Outro aspecto bem-sucedido das políticas educacionais são os programas de bolsas implantados pelo governo federal e pelas fundações estaduais de amparo à pesquisa. Hoje, bolsas de estudo e pesquisa atendem alunos do ensino médio, graduandos em iniciação científica, pós-graduandos em nível de mestrado e doutorado e pesquisadores, tanto em nível de pós-doutorado quanto aqueles com alta produtividade.

Merece destaque, ainda, a Plataforma Lattes<sup>[3]</sup> do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que reúne em detalhe o *curriculum vitae* dos cientistas e pesquisadores nacionais. São hoje cadastrados mais de três milhões de currículos, que dão acesso e transparência às atividades desses profissionais. Os dados da Plataforma Lattes cobrem não apenas os pesquisadores profissionais atuantes na ciência, mas também estudantes de pós-graduação e, em especial, bolsistas de iniciação científica, outro programa de grande destaque e sucesso, existente no Brasil desde os anos 1950 e que constitui a base de alimentação da pós-graduação brasileira. Cabe também destacar o Portal de Periódicos da Capes,<sup>[4]</sup> que abriga uma coleção de obras de referência e de periódicos sem paralelo em abrangência no mundo, com mais de 37 mil periódicos em todas as áreas do conhecimento.

A preocupação com a inovação tecnológica traz novas oportunidades e desafios para os programas de pós-graduação. Os exemplos brasileiros bem-sucedidos, sobretudo nas áreas onde a virtuosa combinação entre as competências científica e tecnológica levaram o Brasil a ocupar posições de destaque no cenário mundial, parecem indicar que o país já possui um conjunto de boas iniciativas a serem seguidas. Cita-se aqui as áreas de aviação e ciências espaciais, biocombustíveis (etanol e biodiesel), extração de petróleo em águas profundas, produção de celulose e papel, refrigeração e máquinas elétricas, agricultura, medicina tropical e automação bancária, entre outras. Nesse aspecto, vale ressaltar a importância do Programa Nacional de Incubadoras e Parques Tecnológicos, que já propiciou a criação de mais de 400 incubadoras de empresas e quase 100 iniciativas associadas a parques tecnológicos. Esse programa e outros por ele inspirados têm favorecido o empreendedorismo tecnológico, de modo que a formação de empreendedores científicos e tecnológicos passou a ser também um dos objetivos da pós-graduação brasileira.<sup>[viii]</sup>

A já mencionada MEI, que desde 2008 busca fortalecer a inovação industrial no Brasil e contribuir para o aprimoramento das políticas públicas relacionadas ao tema, também merece destaque, pois é, hoje, o principal espaço de diálogo entre lideranças empresariais e governo. Sua atuação visa ao enfrentamento de dois dos desafios impostos pelos novos tempos: geração de inovação tecnológica e aumento da competitividade. Para a MEI, além de uma sólida base técnica, as escolas de engenharia deveriam formar profissionais com capacidade de inovação, empreendedorismo, liderança e trabalho em equipe, habilidades que transcendem a formação dos cursos tradicionais. Uma revisão profunda nos parâmetros de ensino torna-se, portanto, fundamental para que o país aumente sua produtividade tecnológica e se torne mais inovador.

Por fim, é notável o recente desenvolvimento da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), que, nos últimos quatro anos, tornou-se o maior programa brasileiro de fomento à inovação com recursos não reembolsáveis. Os principais méritos do sistema Embrapii são sua agilidade na criação de alianças entre as unidades de pesquisa e empresas em busca de pesquisa para inovação, sua flexibilidade no desenvolvimento dos projetos e seu forte sistema de acompanhamento e auditoria, que confere qualidade e baixo risco ao sistema.

## EMBRAPII, UM MODELO A SER SEGUIDO

A Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii) é uma organização social, portanto uma associação privada, sem fins lucrativos, ligada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) por contrato de gestão e qualificada como organização social pelo poder público federal desde setembro de 2013.

Formulado para permitir a combinação entre flexibilidade e agilidade no apoio a projetos de pesquisa e desenvolvimento para soluções tecnológicas inovadoras, seu modelo permite integrar empresas e instituições de ciência e tecnologia já beneficiadas por outros instrumentos de fomento à pesquisa e inovação. Esse sistema pode constituir uma nova e promissora oportunidade de associar instrumentos e iniciativas, inclusive em relação ao sistema de pós-graduação, em busca de resultados mais efetivos para inovação industrial.

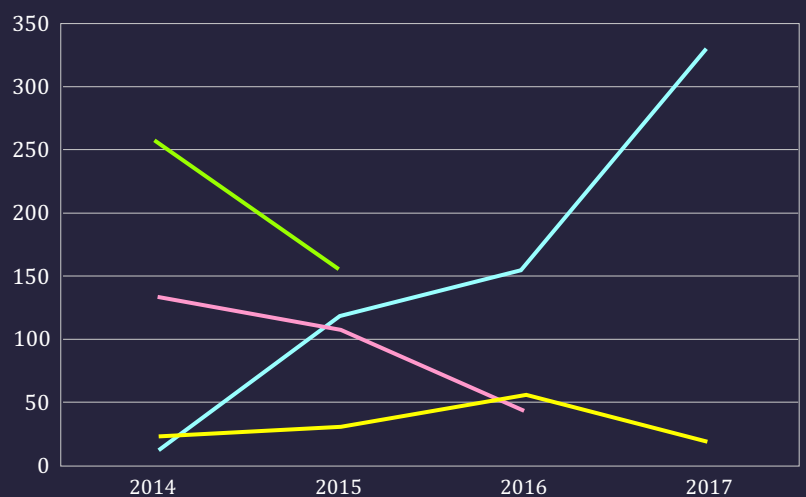


Um dos aspectos mais importantes da atuação da Embrapii é permitir, com a necessária objetividade, a articulação das principais competências nacionais em pesquisa para apoio às empresas. Os recursos não reembolsáveis administrados pela Embrapii são transferidos às instituições de pesquisa, qualificadas por sua excelência e foco tecnológico e também por sua capacidade de prospectar e entender as necessidades das empresas.

Seus projetos têm como ponto de partida uma pesquisa necessária ao desenvolvimento de uma inovação na empresa parceira. A partir daí, estabelece-se a cooperação de competências das instituições científicas da rede Embrapii, juntamente com as empresas, com o objetivo de usar resultados de pesquisas e desenvolvimentos para aplicação em busca de mercado, competitividade etc.

Inspirado em modelos internacionais – como o Fraunhofer, na Alemanha; o Instituto Carnot, na França; os TE Centres, na Finlândia; e Catapult, no Reino Unido, entre outros –, o sistema Embrapii foi implantado há apenas quatro anos, mas já mostra resultados impressionantes.

**Contratos assinados ou valores pagos/ano para os principais programas não reembolsáveis do Brasil em R\$ milhões**



1 EMBRAPII      2 Fapesp PIPE      3 BNDES FUNTEC      4 Finep Subvenção

*Observações e fontes:*

(1) – Valor total de contratos assinados. Embrapii iniciou sua operação em 2014.

(Fonte: Sistema de Gestão da Embrapii)

(2) – Valores pagos. Os dados de 2017 referem-se aos meses até maio.

(Fonte: FAPESP, 2017) <sup>[ix]</sup>

(3) – Valores de contratos assinados. (Fonte: SOUZA, E. et al., 2016) <sup>[x]</sup>

(4) – Valores desembolsados. (Fonte: FINEP, Relatório de Gestão, 2017)

Hoje, a Embrapii tem sido apontada pelas empresas parceiras como o mais bem-sucedido sistema de fomento à inovação do Brasil. Enquanto, nos últimos quatro anos, observou-se uma redução tanto nos valores de contratos assinados pelo Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) quanto nos valores desembolsados pela Empresa Brasileira de Inovação e Pesquisa (Finep), os valores de contratos assinados pela Embrapii cresceram acentuadamente. Durante o mesmo período, os valores de contratos pagos pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) no seu programa de inovação permaneceram aproximadamente constantes.

## SISTEMA BRASILEIRO DE INOVAÇÃO

O Brasil conta hoje com muitas instituições e organizações interessadas em promover a inovação nos âmbitos industrial, de serviços e também na gestão pública. Há um sistema de ciência e tecnologia devidamente irrigado, com secretarias de ciência, tecnologia e inovação e fundações estaduais de apoio à pesquisa, além de um tecido para ciência inserido em um bom sistema de pós-graduação. A discussão sobre a necessidade de inovar mais tem sido intensa, tanto no ambiente empresarial quanto no acadêmico e de governo. Mas, apesar de ter recebido recentes estímulos, a reação ainda é baixa e há necessidade de aprimorar mais o sistema, além de integrar os instrumentos disponíveis.

## PRINCIPAIS INICIATIVAS DE APOIO À INOVAÇÃO NO BRASIL

- INOVA EMPRESA - financiamento reembolsável, subvenção e capital de risco;
- TECNOVA - subvenção econômica para micro e pequena empresa, com foco no apoio à inovação tecnológica e com o suporte das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa;
- BRAGECRIM - cooperação entre Brasil e Alemanha em manufatura para indústria;
- INSTITUTOS NACIONAIS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (INCT) - programa que agrega, de forma articulada, os melhores grupos de pesquisa em áreas de fronteira da ciência e em áreas estratégicas para o desenvolvimento sustentável do país;
- PROGRAMA DE RECURSOS HUMANOS EM ÁREAS ESTRATÉGICAS (RHAE) - programa destinado à inserção de mestres e doutores em empresas privadas, preferencialmente de micro, pequeno e médio porte;
- AGENTES LOCAIS DE INOVAÇÃO (ALI) - programa que busca levar a cultura da inovação para as pequenas empresas, contribuindo para a formação dos empresários e sensibilizando-os para a importância da inovação;
- SISTEMA BRASILEIRO DE TECNOLOGIA (SIBRATEC) - sistema de instituições que operam em rede com o objetivo de apoiar o desenvolvimento tecnológico das empresas brasileiras e melhorar a qualidade dos produtos colocados nos mercados interno e externo, dando condições para o aumento da taxa de inovação das empresas;
- INCENTIVOS FISCAIS - lei de informática, lei do BEM e Inovar-Auto;
- CIÊNCIA SEM FRONTEIRAS - programa que busca promover a consolidação, expansão e internacionalização da ciência e tecnologia, da inovação e da competitividade brasileira por meio do intercâmbio e da mobilidade internacional de alunos e pesquisadores;
- PRUMO SEBRAE - programa de laboratórios móveis operados por especialistas para atendimento tecnológico às empresas;
- SEBRAETEC - programa que aproxima os pequenos negócios e os prestadores de serviços tecnológicos para a promoção da inovação;
- NÚCLEOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA (NIT) - com apoio das secretarias estaduais;
- PROGRAMA NACIONAL DE APOIO ÀS INCUBADORAS DE EMPRESAS E PARQUES TECNOLÓGICOS (PNI) - visa congregar, articular, aprimorar e divulgar os esforços institucionais e financeiros de suporte a empreendimentos residentes nas incubadoras de empresas e parques tecnológicos, para apoiar a geração e consolidação de um crescente número de micro e pequenas empresas inovadoras;
- PROGRAMAS DE APOIO À INOVAÇÃO NAS EMPRESAS E PEQUENAS EMPRESAS - nas Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa;
- GRANDES LABORATÓRIOS MULTIUSUÁRIOS - laboratórios nacionais de grande porte em áreas estratégicas (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, Laboratório de Integração e Testes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Reator Multipropósito, Navio Oceanográfico Vital de Oliveira);
- AMPLIAÇÃO DA BASE EDUCACIONAL - ampliação dos IF's, Pronatec, Prouni e UAB;
- MEI - propostas das lideranças empresariais brasileiras para a inovação;
- FUNTEC/BNDES - fundo que apoia financeiramente projetos que objetivam estimular o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o país;
- EMBRAPPII - rede de laboratórios credenciados e com subvenção para contratar projetos de inovação com empresas.

Atualmente, grande parte do sistema de pesquisa se preocupa em encontrar caminhos para reduzir a distância entre os resultados dos projetos aplicados e as oportunidades de inovação. Na engenharia, por exemplo, entende-se que a formulação dos temas de pesquisa deva considerar as reais demandas das indústrias e dos negócios brasileiros. Mas, para isso, é necessário que organizações de pesquisa e de aplicação convivam mais intensamente, de forma a entender os problemas e aprender como colaborar mais efetivamente.

Outra limitação é que muitos dos programas de inovação de agências, governos e universidades foram criados intramuros, considerando pouco a possibilidade de integração com os instrumentos já disponíveis. Agora, a criação de mais valor inovador nas empresas brasileiras dependerá de estímulos mais agressivos, que contemplem processos claros, avaliados por indicadores adequados e que permitam uma convivência contínua entre as instituições de ciência e tecnologia e as empresas.

Alguns exemplos exitosos reforçam a convicção de que a convivência contínua entre centros de conhecimento e empresas, com planejamento objetivo e focado em produtos concretos e bem definidos, dá excelentes resultados. Dois dos principais são o desenvolvimento da indústria aeronáutica com a Embraer e o avanço na exploração do petróleo de águas profundas na Petrobras. Em ambos, houve um objetivo claro a ser atingido – colocar uma aeronave no mercado com preço e qualidade competitivos, no caso da Embraer, e explorar petróleo em águas profundas, no caso da Petrobras.

Na experiência da Embraer, além do objetivo concreto, a forte ligação com os centros de pesquisa do Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e a formação de competências no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), integradas por um planejamento com missões bem definidas, produziu valores provenientes de muitas inovações em produtos, processos e gestão, de forma a projetar a empresa no cenário internacional.

Já na Petrobras, foram marcantes a convivência contínua da empresa com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes) e a formação de pessoas e a geração de conhecimentos no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Houve, ainda, programas de cooperação com importantes centros de tecnologia e instituições universitárias no Brasil e no exterior. Tudo isso permitiu, com objetivos claros e planejados, a partir das demandas tecnológicas da empresa, que resultados impressionantes para a inovação em tecnologia de exploração de petróleo fossem alcançados.

A partir dos exemplos expostos, a ABC acredita que uma receita factível para inovar mais, dentro das possibilidades existentes no Brasil e extraindo o máximo possível do sistema atual, deve incluir os seguintes ingredientes essenciais:

---

• **Integração de competências complementares em torno das demandas.** Uma inovação tecnológica normalmente envolve temas em diversas áreas de conhecimento e, por isso, exige trabalho cooperativo e integrado em torno de um único plano focado na obtenção da inovação. Isso pode ser obtido com grandes programas nacionais orientados por missões concretas, entregáveis e de interesse nacional, a exemplo do que aconteceu nos Estados Unidos para a estruturação das áreas aeroespacial, de energia, de saúde e de defesa.

• **Planejamento orientado à inovação.** Ainda é pouco comum nas instituições de ciência e tecnologia brasileiras o planejamento *top-down*, isto é, com a missão clara de obter produtos ou processos inovadores. No entanto, é fundamental que esse esforço seja feito. Mais do que isso, as instituições públicas de ciência e tecnologia deveriam receber de seus órgãos de origem (ministérios, secretarias etc.) missões de inovação a serem desenvolvidas em parceria com potenciais empresas fornecedoras. Para isso, é preciso que esses órgãos tenham um mínimo de inteligência e qualificação nas áreas tecnológicas nas quais pretendam atuar.

• **Gestão de pessoas por competências e resultados.** A avaliação das competências essenciais do pesquisador inovador deve incluir, além da capacidade de produzir conhecimento em sua área de especialidade, o seu nível de conhecimento sobre o mercado de aplicação e a sua capacidade de trabalhar em equipe e de lidar com as empresas parceiras. Esse processo deve ser usado para promover o pessoal de pesquisa em suas carreiras profissionais. É importante, ainda, que fique bem claro e transparente o alvo a ser atingido e que haja premiação ao final de um projeto, cada vez que as metas sejam completadas com sucesso.

• **Instrumentos de fomento integrados para cada fase do processo de inovação.** Com frequência, instituições, em parceria com empresas, solicitam financiamento para algum agente de fomento e, depois de longa espera e exagerada burocracia, sem perspectiva clara para financiamento das fases finais de produção ou comercialização de uma inovação, se frustram e desistem de importantes projetos. A Embrapii surgiu para minimizar esse problema.

• **Formação de recursos humanos com a clara visão do valor da inovação para a sociedade.** Este é certamente um dos pontos mais importantes: é preciso formar os agentes que serão capazes de trilhar os melhores caminhos para transformar o ambiente empresarial e institucional e acelerar a inovação tecnológica no Brasil.

Vale notar, aqui, que, embora a pós-graduação brasileira tenha um processo de avaliação sólido em relação aos valores acadêmicos, o processo de avaliação da capacidade de apoio à inovação ainda não amadureceu na medida necessária. A pós-graduação, mesmo nas engenharias, de forma geral, ainda está distante do setor industrial, e precisa se integrar a ele.

Ressalte-se, porém, que a universidade não deve tentar ser o único agente para a inovação industrial – mais do que isso, deve formar pessoas capacitadas com conhecimento dos desafios do mercado, que permitam que o processo aconteça dentro das próprias empresas. Assim como se incentiva, nos programas de pós-graduação, que os alunos se tornem cientistas ou professores, é necessário que os alunos motivados para a aplicação dos conhecimentos no mercado sejam estimulados para o empreendedorismo tecnológico.

Essa lógica poderia agilizar a chegada ao mercado dos produtos inovadores criados no Brasil. Atualmente, embora se comemore o número de patentes depositadas por universidades, vê-se que poucas são, de fato, realmente licenciadas, o que mostra que os mundos da pesquisa e das empresas ainda estão muito desconectados. Nas nações inovadoras, é diferente: são as empresas as grandes depositárias de patentes, e as taxas de uso e licenciamento são mais elevadas.

Neste contexto, é importante que haja clareza sobre as duas principais formas de se fazer pesquisa e formar recursos humanos. A primeira é a pesquisa motivada pela curiosidade ou pela busca do avanço das fronteiras do conhecimento, mas que não tem necessariamente aplicação empresarial ou comercial. A segunda, a pesquisa motivada pela busca de desenvolvimento social ou empresarial, que objetiva produzir conhecimentos aplicados para produção de riquezas, abertura de novos mercados, melhoria na qualidade de vida ou melhoria da competitividade das empresas. As duas formas e motivações para o desenvolvimento da pesquisa (básica pela curiosidade e aplicada para o desenvolvimento) devem conviver harmonicamente na pós-graduação brasileira.

De fato, o esgotamento do modelo ofertista no apoio para a inovação leva a uma reflexão sobre qual seria o caminho para melhorar o real desenvolvimento de inovações no Brasil. É claro que se deve perseguir todas as condições básicas do ambiente, conforme apresentado em seções anteriores, mas, neste momento, ao formular um *Projeto de Ciência para o Brasil*, a ABC considera importante focar nas missões do sistema brasileiro de pesquisa e pós-graduação. Ainda, deve-se observar que o problema não é apenas brasileiro, mas ocorre em diversos países, inclusive nos mais desenvolvidos.

---

# PROPOSTAS CONCRETAS

Diante de uma quantidade razoável de investimentos com pouco impacto no desenvolvimento econômico e social, percebe-se que a maior oportunidade atual para o Brasil no setor de inovação está na capacidade de dar foco à atuação e à colaboração de pesquisadores em torno de uma missão inovadora muito clara, bem definida, bem acompanhada e avaliada, que resulte em produção de riquezas. Assim, são destacadas, a seguir, propostas objetivas para que as áreas de ciências aplicadas possam ajudar mais nos processos de inovação:

## 1

---

Criar indicadores sólidos que avaliem a capacidade de apoio que os programas de pós-graduação possam oferecer às empresas em seus processos de inovação. Este processo deve ser conduzido pela Capes e por outras agências de fomento, à luz dos indicadores que estão sendo utilizados no sistema Embrapii ou de forma a consolidar o sistema de verificação da relevância de projetos de inovação, como desenvolvido na área de inovação do currículo Lattes. O aprimoramento e a valorização desses indicadores nos processos de avaliação dos programas de engenharias e ciências aplicadas será o caminho para estimular o relacionamento entre os programas e as empresas, sem prejuízo da qualidade na produção de conhecimento;

## 2

---

Criar uma contrapartida pública para que bons centros de pesquisa em engenharias ou ciências aplicadas aproximem sua relação com empresas, com avaliação precisa dos projetos a serem desenvolvidos e a concessão de dotações especiais vinculadas ao cumprimento dessas missões;

# 3

---

Promover a ligação de estudantes no exterior com centros de pesquisa e desenvolvimento de empresas. Nas bolsas concedidas para doutorados no exterior em áreas tecnológicas, há que se valorizar a inclusão de empresas nos projetos de pesquisa, de forma a estabelecer uma cota de bolsas que priorize essa condição;

# 4

---

Implantar projetos com objetivos claros de desenvolvimento de soluções tecnológicas para o desenvolvimento nacional, de forma integrada com outras agências e com empresas. O Brasil precisa estabelecer um programa nacional de inovação dotado dos instrumentos necessários para estimular o desenvolvimento, usando a força articuladora das compras públicas para estruturar grandes projetos mobilizadores das competências tecnológicas das instituições de pesquisa e das empresas em temas de interesse do governo em áreas como energia, logística, saneamento etc. Tais projetos podem ser fomentados de forma articulada pelas várias agências e com a participação das principais empresas, para que resultem em produtos reais;

# 5

---

Criar um desenho inteligente de planos, políticas e incentivos. As políticas públicas devem ser aderentes à necessidade de competitividade nas empresas, evitando que aportes de recursos para inovação tornem-se apenas investimentos em ampliação da capacidade produtiva pela simples aquisição de máquinas ou alívio em fluxos de caixa;

# 6

---

Tornar a articulação dos instrumentos e estratégias institucionais elementos essenciais – tal articulação visa dar robustez ao ecossistema de inovação, minimizando a fragmentação e a sobreposição de esforços;



---

# 7

---

Redesenhar os processos das instituições de fomento à inovação. Além da robustez e da integridade, a eficiência deve ser sua principal missão. Destaca-se aqui também a necessidade de apoiar sistemas existentes, como a Embrapii, que têm demonstrado grande desempenho na agilidade e flexibilidade para apoio à inovação e que hoje não têm prioridade orçamentária. O acompanhamento de resultados seria um elemento fundamental para qualquer sistema de fomento à inovação;

# 8

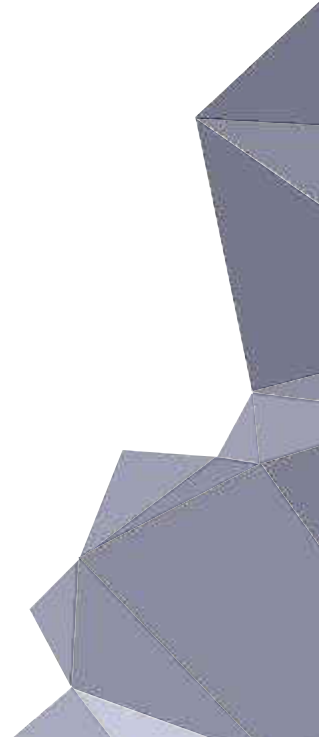
---

Adotar o conceito de pesquisa orientada à missão, isto é, fomentar a atividade de pesquisa com um propósito definido, pelo menos para parte dos recursos, alinhando o trabalho das instituições científicas com a estratégia nacional de desenvolvimento. Ao mesmo tempo, deve ser preservado o espaço da ciência básica, como indutora de grandes transformações científicas e tecnológicas e promotora de uma cultura do conhecimento;

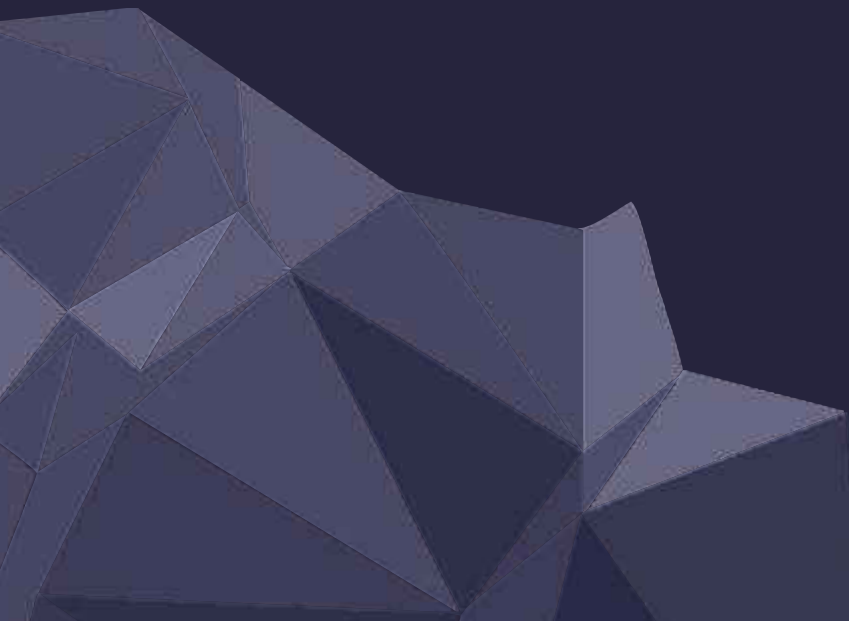
# 9

---

Difundir o conceito de planejamento de ações e seleção de prioridades *top-down*. Parece claro que tais ações requerem uma urgente política superior de planejamento e seleção de prioridades, capazes de orientar e dar consistência ao conjunto de propostas acima delineadas.



O caminho da inovação tecnológica deve ser visto como estratégia para o desenvolvimento econômico e social do Brasil. É natural que países que atingiram maturidade científica também consigam se tornar mais produtivos e mais competitivos tecnologicamente – com isso, o conhecimento científico também reverte para a geração de riquezas e para a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Assim, a inovação não poderia ficar de fora de um *Projeto de Ciência para o Brasil*. Neste momento em que se apresenta e se discute propostas para guiar e aprimorar a produção de conhecimento científico no país, a expectativa é que não se perca a oportunidade de introduzir mudanças para que o desenvolvimento tecnológico e a inovação possam ser praticados em sua plenitude.



- 
- [1] Saiba mais sobre o desempenho do Brasil no Pisa em: <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/pisa-no-brasil>>.  
 [2] Saiba mais sobre o Índice do Bom País em: <<https://goodcountry.org>> (em inglês).  
 [3] Acesse em: <<http://lattes.cnpq.br/>>.  
 [4] Acesse em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/>>.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [i] BRONOWSKI, J.. **A Escalada do Homem**. Brasília: Martins Fontes/Editora Universidade de Brasília, 1979.  
 [ii] CLARK, K. **Civilização**. Brasília: Martins Fontes/Editora Universidade de Brasília, 1980.  
 [iii] MOTA, R.; OLIVEIRA, J. F. G.. Combining innovation and sustainability: an educational paradigm for human development on earth. **Brazilian Journal Of Science And Technology**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.1-12, 2014. Springer Nature.  
 <<http://dx.doi.org/10.1186/2196-288x-1-2>>.  
 [iv] SCHWAB, K. (Ed.). **The Global Competitiveness Report: 2012–2013**. Geneva: World Economic Forum, 2012. 545 p.  
 Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2012-13.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2012-13.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2018.  
 [v] COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Proposta do Plano Nacional Pró-Engenharia**. Brasília: Capes/ MEC, 2010.  
 [vi] THE CONFERENCE BOARD. **Total Economy Database™: Key Findings**. 2015. Disponível em: <<https://www.conference-board.org/data/economydatabase/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.  
 [vii] INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria de Transformação por intensidade tecnológica em 2017: aumento generalizado de exportações e importações**. 2018. Disponível em: <[http://www.iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_830.html](http://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_830.html)>. Acesso em: 12 abr. 2018.  
 [viii] PAULA E SILVA, E. M.. Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. In: COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Plano Nacional de Pós-Graduação 2011-2020**, Vol. 2. Brasília: CAPES, 2010.  
 [ix] FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **PIPE 20 anos: A história do maior programa brasileiro de apoio às pequenas empresas inovadoras**. São Paulo: Fapesp, 2017. 184 p. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/2017/pipe20anos.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.  
 [x] SOUZA, E. et al. Avaliação do BNDES Funtec: uma análise sistêmica de efetividade. **Revista do BNDES**, n. 45, p. 67-97, Jun 2016.  
 [xi] SCHWAB, K. (Ed.). **The Global Competitiveness Report: 2017–2018**. Geneva: World Economic Forum, 2017. Disponível em: <<https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018>>. Acesso em: 30 abr. 2018.  
 [xii] DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. (Eds.). **The Global Innovation Index 2017: Innovation Feeding the World**. 10. ed. Ithaca, Fontainebleau, Geneva: Cornell University, INSEAD, WIPO, 2017. 463 p. Disponível em: <<https://www.globalinnovationindex.org/gii-2017-report>>. Acesso em: 30 abr. 2018.  
 [xiii] GRUEBER, M. et al. 2014 Global R&D Funding Forecast. **R&DMag**, [s.l.], p.1-35, dez. 2013. Disponível em: <[https://www.battelle.org/docs/default-source/misc/2014-rd-funding-forecast.pdf?sfvrsn=22d9a988\\_2](https://www.battelle.org/docs/default-source/misc/2014-rd-funding-forecast.pdf?sfvrsn=22d9a988_2)>. Acesso em: 12 abr. 2018.  
 [xiv] OECD. **OECD Factbook 2014: economic, environmental and social statistics**. [s.l.]: OECD Publishing, 2014. 262 p. Disponível em: <[https://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook-2014\\_factbook-2014-en](https://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook-2014_factbook-2014-en)>. Acesso em: 30 abr. 2018.  
 [xv] INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). Indústria de Transformação por intensidade tecnológica em 2017: aumento generalizado de exportações e importações. **Carta IEDI**, [s.l.], n. 830, 09 fev. 2018. Disponível em: <[http://www.iedi.org.br/cartas/carta\\_iedi\\_n\\_830.html](http://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_830.html)>. Acesso em: 30 abr. 2018.







A história aponta que nenhum país pode prescindir de ciência e tecnologia para alcançar o pleno desenvolvimento econômico e social. Pensando nisso, a Academia Brasileira de Ciências desenvolveu o *Projeto de Ciência para o Brasil*, que, a partir de um exercício que mobilizou um expressivo número de pesquisadores, de diferentes áreas e regiões do país, elaborou recomendações e propostas concretas para o desenvolvimento científico e tecnológico do país.

O Brasil reúne condições muito favoráveis para utilizar eficientemente ciência, tecnologia e inovação em um projeto de crescimento sustentável, ousado e transformador que contribua para aumentar a riqueza e reduzir as desigualdades, melhorando o nível de vida da população e colocando o país em uma posição de protagonismo no cenário internacional. A capacidade científica consolidada no país ao longo das últimas décadas, suas dimensões continentais, sua população e a diversidade de seus ecossistemas permitem trilhar este caminho.

Somente o conhecimento, a ciência e a tecnologia poderão trazer resultados mais perenes, e não apenas paliativos, para um verdadeiro desenvolvimento do Brasil, tornando-o menos dependente de *commodities* e mais baseado em produtos com alto valor de inovação agregado.

**Jerson Lima Silva e José Galizia Tundisi**



apoio:



membros institucionais:



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85761-47-9



9 788585 761479