



**Rumo a um  
ciclo de expansão  
econômica  
sustentável**



## Sindicatos filiados

Sindicato dos Engenheiros no Estado do Acre  
Sindicato dos Engenheiros no Estado de Alagoas  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Amapá  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Amazonas  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Ceará  
Sindicato dos Engenheiros no Distrito Federal  
Sindicato dos Engenheiros no Estado de Goiás  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Maranhão  
Sindicato dos Engenheiros no Estado de Mato Grosso  
Sindicato dos Engenheiros no Estado de Mato Grosso do Sul  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Pará  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Piauí  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Rio Grande do Norte  
Sindicato dos Engenheiros no Estado do Rio Grande do Sul  
Sindicato dos Engenheiros no Estado de Roraima  
Sindicato dos Engenheiros de Santa Catarina  
Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo  
Sindicato dos Engenheiros, Arquitetos e Geólogos no Estado do Tocantins

SDS Bloco D – Ed. Eldorado – Salas 106/109, SN – Asa Sul

CEP: 70392-901 – Brasília/DF – Telefones: (61) 3225-2288 e (61) 99986-0847

[www.fne.org.br](http://www.fne.org.br)

 /FNEngenheiros

 /FNESind

 /fnengenheiros





# Expediente



**Coordenação-geral**

MURILO PINHEIRO

**Coordenação**

FERNANDO PALMEZAN NETO

**Coordenação da consultoria técnica**

CARLOS SABOIA MONTE

**Consultoria sindical**

JOÃO GUILHERME VARGAS NETTO

**Consultores**

ANTÔNIO AUGUSTO DE QUEIROZ

ARNALDO JARDIM

FELIPPE SERIGATI

GUILHERME S. BASTOS FILHO

ILDO SAUER

LUÍS CARLOS AFFONSO

MARCELLIE DESSIMONI GIRATOLA

MARCELO KNÖRICH ZUFFO

MARCIO POCHMANN

MATHEUS MANSANO

PAULO E. CRUVINEL

ROBERTA POSSAMAI

ROSELI DE DEUS LOPES

SÉRGIO AMADEU DA SILVEIRA

VICENTE ANDREU

**Sintetização das notas técnicas e edição**

RITA CASARO

**Projeto gráfico, diagramação e capa**

ELIEL ALMEIDA

**Revisão**

SORAYA MISLEH

**Apoio**

DANIELA SILVA

FÁBIO SOUZA

PAULA BORTOLINI

PEDRO HENRIQUE SANTANA

**Coordenação gráfica**

ANTONIO VALENTIM HERNANDES

**Impressão**

ELYON INDÚSTRIA GRÁFICA

**Tiragem**

1.000 EXEMPLARES

**Maió/2026**

**As notas técnicas elaboradas pelos consultores foram editadas para a versão dos artigos desta publicação.**

**As originais estão disponíveis no site [www.crescebrasil.org.br](http://www.crescebrasil.org.br).**

.....  
[www.crescebrasil.org.br](http://www.crescebrasil.org.br)



Presidente

**MURILO PINHEIRO**

Vice-presidente

**ANTONIO FLORENTINO DE S. FILHO**

Diretor administrativo

**JOSÉ LUIZ BORTOLI DE AZAMBUJA**

Diretor administrativo adjunto

**LUIZ BENEDITO DE LIMA NETO**

Diretor financeiro

**CARLOS BASTOS ABRAHAM**

Diretor financeiro adjunto

**MODESTO F. DOS SANTOS FILHO**

Diretor de Relações Internas

**CEZAR HENRIQUE FERREIRA**

Diretor operacional

**FLÁVIO JOSÉ A. DE O. BRÍZIDA**

Diretora de Relações Institucionais

**ROBERTA MAAS DOS ANJOS** (licenciada)

Diretor Regional Norte

**MARCOS LUCIANO CAMOEIFRAS**

Diretora Regional Nordeste

**MARIA ODINÉA MELO S. RIBEIRO**

Diretor Regional Centro-Oeste

**GERSON TERTULIANO**

Diretor Regional Sudeste

**ANTÔNIO C. SOARES PEREIRA**

Diretor Regional Sul

**DIOGO DE FREITAS RODRIGUES**

Diretores representantes na Confederação

– *Titular*

**LUIZ H. MONTENEGRO NETO**

– *Suplente*

**GOTTFRIED C. BARBARY SCHMITZ**

DIRETORES DE DEPARTAMENTOS

Ação Social e Cidadania

**DIEGO MIZETTE OLIZ**

Assuntos do Exercício Profissional

**EDILSON REIS**

Assuntos Estratégicos

**JOSÉ AILTON FERREIRA PACHECO**

Meio Ambiente e Sustentabilidade

**SEBASTIÃO A. DA FONSECA DIAS**

Negociações Coletivas Nacionais

**EUGÊNIA M. S. VON PAUMGARTTEN**

Relações Acadêmicas

**ELIAS C. DOS SANTOS** (licenciado)

Relações Internacionais

**DISNEYS PINTO DA SILVA**

Relações Jurídicas e Legislação

**MARCUS V. BATISTA DE SOUZA**

CONSELHEIROS FISCAIS

Efetivos

**ANTÔNIO CIRO BOVO**

**FERNANDO PALMEZAN NETO**

**EDNEY DA SILVA MARTINS**

Suplentes

**EMERSON R. DOS SANTOS VIEIRA**

**REGINALDO C. T. DE SOUSA FILHO**





# Índice

- 8** Engenharia no centro de um novo ciclo de desenvolvimento
- 10** Desenvolvimento e bem-estar social como projeto de país

## Parte 1 | Indústria

- 14** A engenharia frente à nova sociedade de serviços hiperconectada da era digital
- 28** O papel estratégico do engenheiro na era da transformação digital
- 34** A decolagem da indústria aeronáutica brasileira
- 44** O Brasil no centro da revolução verde: engenharia, bioeconomia e futuro sustentável





## Parte 2 | Soberania nacional

- 50** Energia: renda, regulação e reindustrialização
- 66** O desafio da gestão dos recursos hídricos
- 74** Engenharia e inovação para a agricultura sustentável e a segurança alimentar
- 94** Sustentabilidade, tecnologia e os limites das políticas públicas no Brasil
- 104** Sem autonomia digital não há soberania nacional

## Parte 3 | Valorização e protagonismo da engenharia

- 118** Formação em engenharia: do encantamento precoce à aprendizagem ao longo da vida
- 126** Engenharia: uma carreira de Estado para garantir o futuro do Brasil
- 132** Valorização da engenharia e combate à precarização



# Engenharia no centro de um novo ciclo de desenvolvimento

**E**sta nova edição do projeto *Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento* reafirma a necessidade de o Brasil avançar numa trajetória consistente de crescimento, com dinamismo econômico e justiça social. Ao dar continuidade ao esforço de apresentar propostas concretas, a publicação reúne contribuições qualificadas que indicam caminhos para avançar com base no fortalecimento das capacidades internas e na valorização do conhecimento técnico.

BEATRIZ ARRUDA



Murilo Pinheiro

Presidente da Federação Nacional dos Engenheiros (FNE)

Esta etapa tem significado especial ao marcar os 20 anos de uma iniciativa que se consolidou como instrumento de mobilização da categoria na defesa de um projeto de país comprometido com o desenvolvimento. Desde 2006, o *Cresce Brasil* articula conhecimento, visão estratégica e compromisso social, contribuindo de forma permanente para o debate público e para a formulação de alternativas diante dos desafios nacionais.

Sob o título “Rumo a um ciclo de expansão econômica sustentável”, a edição de 2026 parte de uma constatação incontornável: não há crescimento consistente sem bases estruturais sólidas. Expandir indicadores, por si só, não basta. É preciso fazê-lo com inclusão, responsabilidade ambiental,



inovação e fortalecimento da capacidade produtiva, de modo a reduzir desigualdades e ampliar o protagonismo do País no cenário internacional.

Os artigos aqui reunidos – elaborados por especialistas, pesquisadores e profissionais do mais alto nível e reconhecida experiência – abordam temas centrais para esse objetivo: reindustrialização com base tecnológica, transição energética, segurança hídrica, produção sustentável de alimentos, domínio das tecnologias digitais e formação de quadros qualificados. Também evidenciam oportunidades estratégicas abertas pela nova economia global, como o aproveitamento de recursos críticos, a exemplo dos minerais essenciais à transição energética e à transformação digital.

Em todos esses campos, há um elemento estruturante: a capacidade de formular e implementar soluções técnicas para problemas complexos. É nesse ponto que se afirma o papel decisivo da engenharia e seus profissionais, presentes no planejamento e na execução de infraestrutura, no desenvolvimento tecnológico, na formulação de políticas públicas e na garantia da qualidade e segurança dos serviços essenciais. Sua valorização, portanto, ultrapassa a dimensão corporativa e se insere no centro de um projeto nacional comprometido com o bem-estar da população e com a inserção qualificada do Brasil no mundo.

Avançar nessa direção exige também o fortalecimento do Estado como agente de



planejamento, regulação e indução do crescimento. Esse papel inclui assegurar condições adequadas de formação, trabalho e reconhecimento para os quadros técnicos responsáveis por estruturar políticas e projetos. Sem equipes qualificadas, estáveis e comprometidas com o interesse público, não há como enfrentar desafios de grande escala nem transformar potencial em realidade.

Ao celebrar seus 20 anos, o *Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento* se renova sem abrir mão de sua essência: oferecer subsídios para a construção de um futuro melhor. Este conjunto de reflexões, dados e propostas busca contribuir para esse objetivo.

Sigamos juntos na construção do Brasil que queremos.



# Desenvolvimento e bem-estar social como projeto de país

O projeto *Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento* mantém como objetivo o crescimento econômico sustentado com inclusão social. Para isso, é necessário rever a política macroeconômica, com redução consistente da taxa de juros e ampliação dos investimentos públicos e privados em níveis compatíveis com as necessidades do País.



Fernando Palmezan Neto  
*Coordenador do projeto Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento e diretor da Federação Nacional dos Engenheiros (FNE)*

FOTOS: BEATRIZ ARRUDA



Carlos Monte  
*Consultor e coordenador técnico do projeto Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento*

Investir em engenharia é investir diretamente na qualidade de vida da população. Esse impacto se materializa na água que chega às residências, às indústrias e ao campo; na energia limpa que sustenta a economia; na produção agrícola que assegura a alimentação; nas cidades digitais que ampliam oportunidades; e na valorização dos profissionais que viabilizam essas transformações. A engenharia conecta ciência, tecnologia e cidadania, constituindo base para um Brasil mais justo, competitivo e sustentável.

Na sociedade digital, a área estrutura as infraestruturas tecnológicas que viabilizam inclusão, acesso a serviços públicos conectados e proteção de dados. O domínio da inteligência artificial e da soberania digital fortalece a autonomia nacional, gera empregos qualificados e assegura o controle dos sistemas críticos do Estado.

A formação em engenharia e a educação tecnológica são fundamentais para preparar profissionais capazes de transformar conhecimento em resultados concretos: melhorias na saúde, na segurança,



na inclusão digital, na sustentabilidade e no desenvolvimento econômico. Trata-se de uma estratégia de Estado voltada ao aumento da produtividade com justiça social.

No setor energético, sua atuação é decisiva para a transição às fontes renováveis. A gestão eficiente dos recursos contribui para reduzir custos, ampliar o acesso e impulsionar a reindustrialização, com reflexos diretos em tarifas mais justas, maior estabilidade e melhor aproveitamento das riquezas naturais.

Em recursos hídricos e saneamento, garante-se o acesso à água e ao saneamento básico, direitos essenciais à saúde pública. O planejamento por bacias hidrográficas e a construção de infraestrutura resiliente permitem enfrentar crises, reduzir desigualdades regionais e elevar a qualidade de vida, especialmente diante das mudanças climáticas.

Na agricultura sustentável e na bioeconomia, destacam-se práticas de baixo carbono, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta e a agricultura de precisão, que ampliam a produtividade sem avançar sobre o desmatamento. Esse movimento fortalece a segurança alimentar, gera empregos, valoriza os biomas e posiciona o Brasil como referência em soluções sustentáveis. A revitalização da pesquisa agropecuária e o uso de biotecnologia ampliam a competitividade e garantem alimentos de qualidade.

No âmbito da engenharia pública, seu reconhecimento como carreira de Estado fortalece o planejamento e a execução de

obras seguras e duradouras. Isso se traduz em maior confiabilidade de barragens, sistemas de transporte e infraestrutura urbana, melhor aplicação dos recursos públicos e prevenção de falhas e tragédias.

Por fim, a valorização profissional é condição essencial para evitar a precarização e assegurar vínculos formais que sustentem inovação e qualidade técnica. Equipes estáveis favorecem soluções complexas e seguras, ampliam o interesse dos jovens pela profissão e garantem direitos trabalhistas e previdenciários, com impactos positivos para toda a sociedade.

Esse conjunto de ideias e propostas, voltado à construção de um país verdadeiramente desenvolvido, está reunido nesta edição do *Cresce Brasil* como uma contribuição ao debate.

RAFA MAGRI/PM3





Há duas décadas  
propondo soluções  
ao desenvolvimento  
nacional

Acesse e conheça mais:

[www.crescebrasil.org.br](http://www.crescebrasil.org.br)





PARTE 1

# Indústria



# A engenharia frente à nova sociedade de serviços hiperconectada da era digital



Marcio Pochmann

Professor de Economia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e presidente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

MARCELO CAMARGO/IEBC



**A** modernidade industrial, consolidada ao longo dos séculos XIX e XX, foi edificada sobre o aço, o vapor, a eletricidade e o petróleo, produtos da segunda Revolução Industrial proveniente dos países do Norte Global. A engenharia foi o instrumento privilegiado de sua materialização desde as estradas de ferro que costuraram continentes, hidrelétricas que iluminaram metrópoles, redes de saneamento que ampliaram a expectativa de vida e sistemas de produção em escala que multiplicaram a riqueza das nações.

Esse paradigma da modernidade ocidental, fundamentado na transformação de matérias-primas em bens físicos por meio de processos mecânicos e energéticos progressivamente sofisticados, dominou o imaginário econômico e a agenda das políticas públicas por mais de dois séculos. Mas a partir da segunda metade do século XX, e de modo acelerado nas três primeiras décadas do XXI, um novo paradigma civilizatório passou a emergir.

De um lado, o avanço da nova sociedade de serviços hiperconectada e, de outro, o deslocamento do centro dinâmico mundial do Ocidente para o Oriente e dos países do Norte para o Sul Global. Esse inédito movimento perseguiu o rastro da globalização, marcado pelo enfraquecimento do receituário neoliberal e pelo esfacelamento da Guerra Fria, que havia demarcado a centralidade da ordem mundial definida desde o fim da Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Esse novo fenômeno vem sendo acompanhado tanto pela introdução de novos

métodos de produção como pela fusão de tecnologias inéditas, que borram as linhas entre as esferas física, digital e biológica. Se outrora a engenharia era definida primordialmente pela manipulação da matéria e da energia para a produção em massa de bens tangíveis, hoje ela se volta à orquestração de dados e fluxos de informação e à provisão de serviços inteligentes.

Ressalta-se que, no passado, a sociedade urbano-industrial era caracterizada pela centralização produtiva, pela urbanização acelerada em torno de polos fabris e por uma infraestrutura rígida. Em contrapartida, a sociedade de serviços hiperconectada se mantém fluida, descentralizada e dependente de uma infraestrutura invisível, porém onipresente por meio da rede de dados.

A hiperconectividade, termo que descreve o estado de estar constantemente conectado através de múltiplos dispositivos e interfaces, alterou profundamente as expectativas sociais e os modelos de negócio. Nela, a criação de valor deslo-



ca-se progressivamente da produção de bens físicos para a geração, o processamento e a distribuição de informação, conhecimento e experiências. Plataformas digitais substituem fábricas como epicentros econômicos.

Por meio dos algoritmos, as operações manuais seguem sendo substituídas, enquanto a conectividade ubíqua, mediada por *smartphones*, sensores, redes 5G e computação em nuvem, redefine as relações entre produtores e consumidores, cidades e territórios, trabalhadores e mercados. Nesse contexto, apresenta-se uma questão central: qual é o papel da engenharia nessa nova sociedade em transformação acelerada?

Teria ela se tornado secundária, suplantada por economias de plataforma, *designers* de experiência e cientistas de dados, entre outros? Ou, pelo contrário, a engenharia se transformaria em múltiplas formas, permanecendo no centro da construção da nova ordem produtiva a partir de roupagens distintas e com desafios renovados?

A engenharia não apenas persiste como atividade estruturante, mas se torna ainda mais estratégica na era digital. É ela que projeta as infraestruturas ciberfísicas, codifica a inteligência dos sistemas automatizados, garante a segurança e a resiliência das redes e decide, em última instância, quem tem acesso aos benefícios da hiperconectividade.

É justamente neste cenário que o papel da engenharia se redefine de forma drástica. Ela deixa de ser apenas uma disciplina de construção e manutenção de ativos físicos para se tornar uma ciência de integração sistêmica e da engenharia de valor. O engenheiro contemporâneo atua como o arquiteto de ecossistemas complexos onde o *hardware* e o *software* são indissociáveis.

## Sociedade urbana e industrial

A Primeira Revolução Industrial, ocorrida na Europa entre os anos de 1760 e 1840, lançou as bases de uma nova relação entre conhecimento técnico e produção econômica. A invenção e o aprimoramento da máquina a vapor, resultado de décadas de experimentação empírica e matemática, simboliza a emergência do engenheiro como figura central do progresso material.

Como observa Mokyr (1990), a Revolução Industrial não foi apenas uma revolução tecnológica, mas uma revolução do conhecimento útil, na qual o saber técnico sistematizado tornou-se fonte primária de vantagem produtiva. No século XIX, houve a consolidação das grandes engenharias de infraestrutura, sendo a civil, responsável por ferrovias, pontes e portos; a hidráulica, que domou rios para abastecimento urbano; e a mecânica, que presidiu a mecanização das manufaturas têxteis e metalúrgicas.

Pela Segunda Revolução Industrial, alastrada da Europa para os Estados Uni-



dos entre as décadas de 1870 e 1914, a emergência das engenharias elétrica e química consolidou setores inteiramente novos. A geração e distribuição de energia, telecomunicações primitivas, fertilizantes e fármacos, por exemplo, transformaram tanto a produção quanto o cotidiano urbano (Chandler, 1990).

**O papel da engenharia se redefine: deixa de ser apenas uma disciplina de construção e manutenção de ativos físicos para se tornar uma ciência de integração sistêmica.**

No lastro da nova Revolução Industrial, o fordismo-taylorismo dominante no século XX desde os Estados Unidos se difundiu pelo mundo após a Segunda Guerra Mundial. Concomitantemente houve a modelização do perfil específico de engenheiro, altamente especializado, orientado para a eficiência de processos, familiarizado com métodos quantitativos e capaz de gerir grandes equipes de trabalhadores semiqualeificados.

A organização científica do trabalho, preconizada por Frederick Taylor e operacionalizada por Henry Ford desde a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), se

mostrou essencial para o projeto de engenharia aplicado à produção em escala (Braverman, 1974). Esse modelo associou definitivamente o engenheiro ao controle racional do espaço fabril e à padronização dos processos produtivos.

## **A engenharia no Brasil industrial**

No Brasil que buscou se libertar do atraso do escravismo e transitar para o capitalismo, ao final do período monárquico (1822-1889), a instalação da engenharia transcorreu concomitantemente associada ao projeto estatal de modernização. A criação da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, em 1874, e da Escola de Engenharia de São Paulo, em 1893, refletiu a demanda por quadros técnicos capazes de liderar a expansão ferroviária, o saneamento das cidades portuárias e, posteriormente, a industrialização substitutiva de importações (Motoyama, 2004).

No ciclo nacional desenvolvimentista, em que prevaleceu a transição do longo e primitivo agrarismo para a moderna sociedade industrial e urbana entre as décadas de 1930 e 1980, coube à engenharia um papel quase mítico na narrativa nacional.

A construção de Brasília, a expansão da Petrobras, a criação da Embraer, a implantação do sistema hidrelétrico responsável por mais de 60% da matriz elétrica nacional foram alguns dos exemplos que ilustraram simultaneamente as obras de engenharia



e os símbolos de soberania tecnológica. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), criado em 1952, operou durante décadas como financiador privilegiado da engenharia de grande porte (Suzigan & Furtado, 2006).

Essa trajetória, contudo, gerou também dependências e fragilidades. A engenharia brasileira desenvolveu-se fortemente no segmento de obras de infraestrutura pesada e de extração de recursos naturais, mas demonstrou menor capacidade de inovar em engenharia de produtos e em processos industriais sofisticados, diferentemente de outras experiências como na Coreia do Sul e Taiwan, onde estratégias deliberadas de *catching-up* tecnológico produziram indústrias exportadoras de bens de alto valor agregado (Arbix & Martin, 2010).

## Sociedade de serviços hiperconectada

A expressão sociedade pós-industrial, cunhada originalmente por Daniel Bell (1973) há meio século, serviu de descrição para uma economia na qual o setor de serviços superaria a indústria em emprego e valor adicionado. Para isso, o conhecimento teórico e não mais somente o capital físico tornar-se-iam o principal recurso estratégico.

Nos dias de hoje, o que era uma previsão se confirmou realidade. De acordo com dados do Banco Mundial, por exemplo, o setor de serviços responde por cerca



*Sociedade hiperconectada: cidadãos acessam serviços e redes sociais pelo celular em ponto de ônibus na Avenida Paulista, no centro expandido de São Paulo.*

de quatro quintos do Produto Interno Bruto (PIB) global e por uma parcela ainda maior do emprego qualificado nos países de renda alta.

A sociedade contemporânea, todavia, foi além do diagnóstico belliano. O adjetivo hiperconectada captura uma dimensão qualitativa que Bell não pôde antecipar: a integração de bilhões de dispositivos em redes de comunicação de baixíssima latência, gerando fluxos contínuos de dados que alimentam sistemas de inteligência artificial capazes de tomar decisões em frações de segundo.

A nova configuração da sociedade em rede (Castells, 1996), permitida a partir da conectividade que supera as fronteiras físicas da organização de populações em territórios, recolocou novas questões para o sistema interestatal que emergiu





ROVENA ROSA/AGÊNCIA BRASIL

há quatro séculos, com o fim da Guerra dos Trinta Anos, em 1648. A composição e a distribuição do poder e da riqueza no mundo passaram a estar submetidas aos vetores tecnológicos intrínsecos da revolução informacional.

Quatro grandes vetores tecnológicos sustentam a consolidação da sociedade hiperconectada. O primeiro é a Internet das Coisas (IoT), que conecta objetos físicos (máquinas, veículos, edifícios, corpos humanos) a redes digitais, gerando dados em escala sem precedentes. O segundo é a computação em nuvem e o *edge computing*, que distribuem capacidade de processamento e armazenamento de forma elástica e economicamente eficiente.

O terceiro grande vetor tecnológico é a inteligência artificial e o aprendizado de máquina que extraem padrões e geram valor a partir de volumes massivos de dados. O quarto, por fim, são as redes de quinta ge-

ração (5G), que viabilizam a comunicação ultraconfiável de baixíssima latência entre dispositivos e sistemas (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

A convergência desses vetores caracteriza a integração vertical e horizontal de sistemas produtivos por meio de plataformas ciberfísicas. Diferentemente das duas revoluções industriais, a revolução informacional tem sido demarcada pela velocidade de sua difusão no mundo, pelo escopo abrangente e pelo impacto sistêmico sobre o mercado de trabalho, as cadeias de valor e as estruturas de governança.

Nesse sentido, a economia dos países tem sido exposta a um novo elemento definidor e reorganizador imposto pela emergência das plataformas digitais. Isso porque, diferentemente das empresas industriais tradicionais que criam valor por meio da transformação de insumos em produtos, as plataformas geram valor facilitado pelas interações entre múltiplos grupos de usuários (Parker, Van Alstyne & Choudary, 2016).

Corporações transnacionais, como Amazon, Alphabet, Alibaba, Uber, Airbnb e suas congêneres, operam pela nova lógica de acumulação de capital. O seu ativo fundamental deixou de ser a exclusividade da organização produtiva estabelecida em local concreto, como a fábrica na era industrial, para assumir a forma do ecossistema digital que orquestra oferta e demanda em escala global.



Para a engenharia, essa mudança tem implicações profundas. Os sistemas que sustentam essas plataformas, como os algoritmos de recomendação, sistemas de pagamento, infraestruturas de dados e protocolos de segurança cibernética, são projetos de engenharia de alta complexidade. Ao mesmo tempo, operam também como projetos radicalmente diferentes dos que dominaram o passado da era industrial, por meio da novidade da imaterialidade escalável e sem custos marginais significativos, sujeitos a externalidades de rede e operando em contextos regulatórios ainda em construção.

### A reconversão na era digital

A consolidação da nova sociedade hiperconectada não elimina a demanda por engenharia, muito pelo contrário, a amplia e a complexifica. O conceito de sistema ciberfísico (CPS), introduzido por Lee (2008), captura essa nova realidade através dos sistemas nos quais componentes computacionais e físicos estão profundamente integrados, de modo que o comportamento de cada parte depende do comportamento da outra.

As fábricas inteligentes, as redes elétricas autorreguladas (*smart grids*), os veículos autônomos e as cidades inteligentes (*smart cities*) são exemplos de CPS que exigem competências de engenharia simultaneamente no domínio físico e no digital. Esse hibridismo exige do enge-

nheiro contemporâneo uma formação que transcende a especialização disciplinar tradicional.

Em função disso, o engenheiro mecânico que projeta um veículo elétrico autônomo precisa de uma formação mais ampla que permita compreender, por exemplo, os algoritmos de visão computacional. Também o engenheiro civil que planeja uma cidade inteligente precisa dialogar com arquitetos de dados e especialistas em segurança cibernética. O engenheiro de produção que implementa uma linha automatizada precisa entender de aprendizado de máquina e de gestão de mudança organizacional.

**A consolidação da nova sociedade hiperconectada não elimina a demanda por engenharia, muito pelo contrário, a amplia, exigindo competência no mundo físico e no digital.**

A interdisciplinaridade não é mais um diferencial, pois se tornou um requisito fundamental. Uma das transformações mais significativas das últimas décadas é a elevação da Engenharia de *Software* ao *status* de infraestrutura básica da civilização contemporânea.



As redes de energia, os sistemas financeiros, as cadeias de abastecimento de alimentos, as redes de saúde e os sistemas eleitorais dependem, por exemplo, de código-fonte para funcionar. Quando isso falha ou é comprometido, as consequências são tão graves quanto o colapso de uma ponte ou o apagão de uma usina (Andreessen, 2011).

Isso confere à Engenharia de *Software* uma responsabilidade pública que as sociedades democráticas ainda estão aprendendo a regular. Algoritmos de decisão automatizada impactam vidas humanas em processos de concessão de crédito, recrutamento, diagnóstico médico e policiamento preditivo. O debate em torno da responsabilidade algorítmica é simultaneamente técnico, jurídico e ético (O'Neil, 2016; Pasquale, 2015). Nesse novo quadro de exigências formativas, a demanda de competências amplia-se para muito além do domínio técnico estrito.

Também cabe destacar que a configuração da sociedade de serviços hiperconectada da era digital ocorre em meio a uma crise ecológica de proporções históricas. A engenharia é chamada a desempenhar papel central na descarbonização dos sistemas energéticos, na promoção da economia circular, na agricultura de precisão com baixo impacto ambiental e na gestão inteligente de recursos hídricos.

O conceito de engenharia sustentável integradora dos critérios ambientais, sociais e de governança ao ciclo de vida dos

projetos emerge como novo paradigma formativo e profissional (Asce, 2018). Nesse ponto, a digitalização e a sustentabilidade convergem de modo produtivo.

A partir dos gêmeos digitais (*digital twins*), a possibilidade da simulação do desempenho ambiental de infraestruturas antes de construí-las e os sensores IoT permitem monitorar as emissões em tempo real, e os algoritmos de inteligência artificial (IA) otimizam o despacho de energias renováveis intermitentes.

A engenharia da era digital é, portanto, uma engenharia necessariamente comprometida com a longevidade biofísica do planeta, o que implica reorientar métricas de sucesso de projetos, dos critérios de financiamento e das normas profissionais.

## O paradoxo na atualidade

O Brasil ocupa uma posição paradoxal no mapa global da engenharia e da inovação digital. Por um lado, possui ativos consideráveis, como a maior rede de pesquisa em computação da América Latina (RNP), uma indústria de *software* e uma tecnologia da informação (TI) que faturou R\$ 283 bilhões em 2023 (Abes, 2023). Também detém um ecossistema de *startups* vibrantes em São Paulo, Belo Horizonte, Campinas, Florianópolis e Porto Alegre e, ainda, casos de sucesso globais como Totvs, CI&T, Mobile, Nubank e iFood.

Por outro, enfrenta *déficits* estruturais profundos. A qualidade média do ensino



de engenharia nas universidades brasileiras é heterogênea. Enquanto centros de formação pública, como Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Instituto Militar de Engenharia (IME) e algumas universidades federais de excelência formam engenheiros competitivos internacionalmente, a maioria das mais de 600 escolas de engenharia existentes no País (Inep, 2023) opera com infraestrutura precária e currículos desatualizados.

Formam-se poucos engenheiros em proporção ao PIB, comparativamente a nações de industrialização bem-sucedida (Cruz, 2010), e parte significativa dos egressos não encontra trabalho qualificado em suas áreas de formação. Conforme brevemente destacado anteriormente, a nova sociedade hiperconectada da era digital pressupõe a existência de infraestrutura de conectividade universal.

O Brasil avançou significativamente nessa dimensão na última década: a cobertura 4G atingiu mais de 90% dos municípios em 2023, o leilão do 5G, realizado em novembro de 2021, resultou em compromissos de investimento de R\$ 40 bilhões e o Programa Conecta Brasil prevê a universalização da banda larga até 2029. Apesar disso, persistem assimetrias profundas, com a velocidade média de banda larga no Norte e no Nordeste sendo de, respectivamente, 55% e 63% da observada no Sudeste (Anatel, 2023).

A Engenharia de Telecomunicações brasileira enfrenta o desafio adicional da dependência tecnológica. O Brasil não possui fabricantes nacionais de equipamentos de rede de grande porte. Roteadores, antenas e servidores utilizados pelas operadoras são majoritariamente importados da China (Huawei, ZTE), da Suécia (Ericsson) e da Finlândia (Nokia). Essa dependência representa risco estratégico em um contexto geopolítico de crescente tensão tecnológica entre Estados Unidos e China (Medeiros, 2021).

Um setor em que a engenharia brasileira tem demonstrado capacidade competitiva real na era digital tem sido a agricultura de precisão. O Brasil, maior exportador mundial de soja, café, carne bovina e açúcar, desenvolveu um robusto ecossistema de *agtechs*, que aplicam tecnologias digitais à produção agropecuária.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi pioneira no desenvolvimento de algoritmos de manejo e sensoriamento remoto adaptados ao bioma tropical. Empresas como AgroSmart, Solinftec e Traive Finance demonstram que há espaço para inovação de alta sofisticação tecnológica em um setor que a narrativa dominante do Vale do Silício tende a subestimar.

A engenharia agrícola brasileira na era digital combina sensoriamento remoto por satélite e drones, redes de sensores no solo, modelos preditivos de safra baseados



em aprendizado de máquina e plataformas de gestão integrada da cadeia de valor. O Ministério da Agricultura estima que a adoção plena de tecnologias de agricultura de precisão poderia reduzir o custo de produção em até 20% e o uso de defensivos em até 30% – representando, simultaneamente, ganho econômico e benefício ambiental de grande magnitude.

Outro segmento importante tem sido a engenharia de sistemas financeiros públicos. Destaca-se, por exemplo, o PIX enquanto sistema de pagamentos instantâneos desenvolvido pelo Banco Central do Brasil e lançado em 2020. Um caso de excelência em engenharia de sistemas financeiros públicos reconhecido internacionalmente, pois opera 24 horas por dia, sete dias por semana, gratuito para pessoas físicas, com mais de 150 milhões de usuários (BCB, 2023).

O projeto mobilizou dezenas de engenheiros de sistemas, especialistas em criptografia e arquitetos de *software* ao longo de mais de dois anos de desenvolvimento. Essa experiência brasileira ilustra uma lição importante sobre a capacidade do Estado brasileiro de realizar projetos de engenharia digital de classe mundial quando há liderança institucional clara, financiamento adequado, governança participativa com o setor privado e prazos realistas. Trata-se de um modelo a ser replicado em outros domínios – saúde digital, educação conectada, saneamento inteligente –,

MARCELO CAMARGO/AGÊNCIA BRASIL



*Brasil avançou na cobertura 4G, mas assimetrias profundas persistem.*

onde a combinação de engenharia pública e privada poderia gerar benefícios sociais da mesma magnitude.

Do mesmo modo, o ecossistema brasileiro de *startups* cresceu de forma impressionante na última década. O Brasil registrou, em 2025, mais de 20 unicórnios (*startups* avaliadas em mais de US\$ 1 bilhão) e se tornou um dos maiores mercados de *fintechs* do mundo, liderado pelo



Nubank. O engenheiro que emerge nesse ecossistema tem perfil distinto do formado pela engenharia industrial clássica. Ele é mais generalista na base e mais especializado em domínios digitais específicos, trabalha em ambientes ágeis e colaborativos, tem familiaridade com código aberto e comunidades digitais globais e frequentemente transita entre a dimensão técnica e a estratégica de negócios.

Isso coloca novas exigências às escolas de engenharia brasileiras, que precisam equilibrar o rigor científico da formação tradicional com a agilidade e a orientação para o produto que o mercado digital demanda. Mais do que produzir técnicos especializados em disciplinas isoladas, o desafio atual é formar profissionais capazes de integrar conhecimentos, liderar equipes multidisciplinares, tomar decisões em ambientes de incerteza e assumir responsabilidade pública pelo impacto dos sistemas que projetam.

Os desafios formativos passam pela reforma das diretrizes curriculares nacionais dos cursos de engenharia, que foram profundamente revisadas pela Resolução CNE/CES 2/2019, a qual introduziu novos eixos formativos como as competências para inovação, empreendedorismo, trabalho em equipe multidisciplinar e resolução de problemas complexos do mundo real. Embora a reforma tenha representado avanço significativo em relação ao modelo anterior, apresenta nos dias de hoje resis-

tências institucionais, falta de capacitação docente e insuficiência de infraestrutura de laboratório digital nas instituições de menor porte.

Além disso, a nova era digital tem apontado para desigualdades estruturais que, sem o acompanhamento de políticas ativas de inclusão, podem aprofundar ainda mais a realidade brasileira. No contexto da engenharia, isso pode se manifestar tanto na inclusão de grupos historicamente sub-representados na formação técnica (mulheres, negros, habitantes de regiões periféricas) como na democratização do acesso às ferramentas e infraestruturas digitais que condicionam a prática profissional.

Dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep, 2023) revelam que mulheres representam apenas 28% dos matriculados em cursos de engenharia no Brasil. Na Engenharia Elétrica respondem pela proporção de 18%, enquanto na Engenharia de Computação alcançam somente 16%. Essa sub-representação não é um dado natural, uma vez que se apresenta como produto de processos sociais de exclusão que se perpetuam em estereótipos culturais, modelos pedagógicos pouco inclusivos e falta de referências femininas visíveis. Programas como Meninas na Ciência, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e iniciativas de empresas de tecnologia contri-



buem para reduzir essa assimetria, mas de forma ainda insuficiente para alterar substancialmente o quadro.

Também cabe ressaltar que na era digital a engenharia se coloca diante de questões éticas sem equivalente na engenharia clássica. A Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD, 13.709/2018) e o Marco Civil da Internet (12.965/2014), por exemplo, constituem avanços normativos importantes no Brasil, ainda que a efetividade de sua aplicação dependa da capacidade institucional de compreender os sistemas regulados com responsabilidade pública.

## Na era digital, a profissão se coloca diante de questões éticas sem equivalente na engenharia clássica, a exemplo de proteção de dados pessoais dos usuários.

Importante não desconhecer o papel ativo tanto da fiscalização do exercício profissional, a cargo do Sistema Confea/Crea, quanto da representação sindical dos trabalhadores que atualizam seus instrumentos regulatórios para dar conta dessa nova dimensão da responsabilidade profissional. O conceito de Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), central na

regulação brasileira, ainda não incorpora adequadamente, por exemplo, os projetos de sistemas de *software* de impacto social, os algoritmos de decisão automatizada e as infraestruturas digitais críticas. São lacunas que expõem a sociedade a riscos crescentes, à medida que esses sistemas se tornam ubíquos.

## Considerações finais

A trajetória percorrida neste artigo permite afirmar, com base em evidências empíricas e análise teórica, que a engenharia não perdeu centralidade na transição para a sociedade de serviços hiperconectada. Pelo contrário, torna-se mais estratégica, pervasiva e politicamente consequente do que em qualquer período anterior. Os sistemas que sustentam a nova ordem digital são projetos de engenharia, invisíveis quando funcionam e devastadores quando falham.

No plano mais geral, deve-se reconhecer que não existe um único modelo de engenharia para a era digital. A existência de uma diversidade de trajetórias possíveis indica que não há determinismo tecnológico, mas escolhas políticas, institucionais e pedagógicas a serem feitas. No Brasil, o caminho não pode ser a mera cópia de nenhum modelo aplicado em outras partes do mundo.

O País pressupõe uma síntese original que reconheça os ativos nacionais, como a biodiversidade, a agroindústria de fron-



teira, o mercado consumidor continental, o talento empreendedor presente em certas ilhas de excelência tecnológica. Ao mesmo tempo, enfrentar com seriedade os gargalos identificados, como o *déficit* de infraestrutura digital nas regiões periféricas, a heterogeneidade da formação em engenharia, a dependência tecnológica em setores críticos, a exclusão de grupos sub-representados e a questão da soberania informacional.

Assim, três imperativos se impõem ao debate público sobre engenharia e desenvolvimento. Inicialmente o da competência, que exige a elevação sistemática de sua capacidade de criar, não somente adaptar tecnologias digitais. Na sequência, o da equidade, que demanda a hiperconectividade alcançável em todos os territórios e grupos sociais, sob pena de aprofundar as assimetrias históricas. Por fim, mas não menos importante, o da responsabilidade, que requer dos engenheiros o projetamento de sistemas que governam a vida coletiva na era digital, cuja responsabilidade pública é estratégica para as gerações do presente e do futuro.

A engenharia nasceu da necessidade humana de transformar a natureza em favor da vida. Na era digital, sua missão se renova com urgência. Ela precisa avançar com sistemas que permitirão à humanidade, em toda a sua diversidade, navegar a hiperconectividade com dignidade, autonomia e sustentabilidade.

## Em síntese



- A engenharia não perdeu espaço, pelo contrário, tornou-se ainda mais estratégica na economia digital.
- O desafio é claro: reposicioná-la como eixo do desenvolvimento nacional.
- É urgente universalizar a conectividade e reduzir as desigualdades regionais.
- O Brasil precisa fortalecer sua capacidade tecnológica e reduzir dependências externas.
- A formação em engenharia deve mudar: mais digital, interdisciplinar e orientada à inovação.
- É fundamental investir em educação tecnológica e ampliar o acesso à profissão.
- O Estado tem papel decisivo: liderar projetos estratégicos, como já fez com o PIX.
- É preciso integrar universidades, empresas e *startups* em ecossistemas de inovação.
- A regulação deve avançar: incorporar sistemas digitais, algoritmos e novas responsabilidades profissionais.
- Engenharia e sustentabilidade caminham juntas: descarbonização, eficiência e gestão inteligente de recursos.
- O País precisa de um projeto próprio de desenvolvimento tecnológico, baseado em competência, equidade e responsabilidade.



## Referências

- ABES. Panorama e Tendências 2023. São Paulo: ABES, 2023.
- ALI-YRKKÖ, J. et al. Who Captures Value in Global Supply Chains? *Journal of Industry, Competition and Trade*, v. 11, n. 3, pp. 263–278, 2010.
- AMSDEN, A. *Asia's Next Giant: South Korea and Late Industrialization*. New York: OUP, 1989.
- ANATEL. Relatório de Acompanhamento do Setor de Telecomunicações 2023. Brasília: ANATEL, 2023.
- ANDREESSEN, M. Why Software Is Eating the World. *The Wall Street Journal*, 20 ago. 2011. Disponível em: <https://www.wsj.com>. Acesso em: jan. 2026.
- ARBIX, G.; MARTIN, S. B. Beyond Developmentalism and Market Fundamentalism in Brazil: Inclusionary State Activism without Statism. In: *Workshop on States, Development, and Global Governance*. Madison: University of Wisconsin, 2010.
- ASCE. Code of Ethics. Reston: ASCE, 2018.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Relatório de Estabilidade Financeira e PIX: Dados Consolidados 2023. Brasília: BCB, 2023.
- BELL, D. *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*. New York: Basic Books, 1973.
- BRAVERMAN, H. *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*. New York: Monthly Review Press, 1974.
- BRYNJOLFSSON, E. ; McAfee, A. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W. W. Norton, 2014.
- CASTELLS, M. *The Rise of the Network Society*. Oxford: Blackwell, 1996.
- CHANDLER, A. D. *Scale and Scope: The Dynamics of Industrial Capitalism*. Cambridge: HUP, 1990.
- CRUZ, C. H. B. Ciência, Tecnologia e Inovação no Brasil: desafios para o período 2011–2015. *Interesse Nacional*, v. 3, n. 10, pp. 76–108, 2010.
- INEP. Censo da Educação Superior 2024. Brasília: MEC/INEP, 2024.
- KAGERMANN, H. et al. (eds.). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0*. Berlin: Acatech, 2013.
- KOLMOS, A.; FINK, F. K. (eds.). *The Aalborg PBL Model: Progress, Diversity and Challenges*. Aalborg: Aalborg University Press, 2004.
- LEE, E. A. Cyber Physical Systems: Design Challenges. In: *11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing*. Orlando: IEEE, 2008. pp. 363–369.
- MARGETTS, H.; NAUMANN, A. *Government as a Platform: What Can Estonia Show the World?* Oxford: Oxford Internet Institute, 2017.
- MEDEIROS, C. A. Dependência Tecnológica, Cadeias Globais de Valor e a Geopolítica das Redes 5G. *Revista de Economia Política*, v. 41, n. 3, pp. 567–588, 2021.
- MOKYR, J. *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*. New York: OUP, 1990.
- MOTOYAMA, S. (org.). *Prelúdio para uma História: Ciência e Tecnologia no Brasil*. São Paulo: Edusp, 2004.
- O'NEIL, C. *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*. New York: Crown, 2016.
- PARKER, G. et al. *Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You*. New York: W. W. Norton, 2016.
- PASQUALE, F. *The Black Box Society: The Secret Algorithms That Control Money and Information*. Cambridge: HUP, 2015.
- SAXENIAN, A. *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Cambridge: HUP, 1994.
- SUZIGAN, W.; FURTADO, J. Política Industrial e Desenvolvimento. *Revista de Economia Política*, v. 26, n. 2, pp. 163–185, 2006.
- WÜBBEKE, J. et al. *Made in China 2025: The Making of a High-Tech Superpower and Consequences for Industrial Countries*. MERICS Papers on China, Berlin, n. 2, dez. 2016.
- ZUBOFF, S. *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. New York: Public Affairs, 2019.



# O papel estratégico do engenheiro na era da transformação digital



Marcelo Knörich Zuffo

Professor titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP) e coordenador do Conselho Tecnológico do Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo (Seesp)

ACERVO PESSOAL



**O** Brasil atravessa um ponto de inflexão histórico. A transformação digital avança em ritmo exponencial no mundo, impulsionada pela inteligência artificial, pelas redes avançadas de comunicação e pela integração cada vez mais profunda entre sistemas físicos, digitais e cognitivos.

Não se está mais em um ciclo tecnológico, mas de uma reorganização estrutural da economia global e das hierarquias de poder entre as nações. Quem domina as infraestruturas digitais, os algoritmos, os semicondutores e os materiais críticos, incluindo aqui as terras raras, controla cadeias produtivas estratégicas, define padrões tecnológicos e influencia decisões geopolíticas.

Os impactos dessa dinâmica incidem diretamente sobre a competitividade industrial, a segurança econômica e a autonomia decisória de países como o Brasil. Nesse novo contexto, o exercício da engenharia também se transforma radicalmente. Os desafios deixam de estar restritos ao chão de fábrica tradicional e passam a situar-se em um patamar mais elevado de complexidade, concentrando-se na concepção de sistemas integrados, infraestruturas críticas e plataformas tecnológicas que sustentam a sociedade do conhecimento. Não mais apenas vetor de eficiência produtiva, torna-se instrumento central de soberania, resiliência estratégica e desenvolvimento nacional.

Nesse cenário, a engenharia brasileira é chamada a assumir um papel estratégico. Mais do que acompanhar tendências glo-

bais, cabe aos profissionais participar proativamente da construção da autonomia tecnológica do País.

A digitalização deixou de ser um processo incremental de modernização. Hoje ela redefine cadeias produtivas inteiras. Infraestruturas críticas, como centrais de dados, sistemas industriais, redes elétricas, infraestrutura urbana, agronegócio, logística e defesa, passam a depender de inteligência artificial embarcada, redes 5G e futuras redes 6G, sensores distribuídos, microprocessadores avançados e plataformas digitais integradas.

O centro de valor desloca-se da produção física isolada para sistemas integrados e inteligentes. Quem domina essas tecnologias domina a capacidade de gerar riqueza, produtividade e influência geopolítica. A dependência tecnológica, portanto, não é apenas uma questão comercial, mas também uma vulnerabilidade estratégica diretamente relacionada ao pleno exercício da soberania como nação brasileira.

### **A era da IA**

A inteligência artificial não é apenas uma ferramenta de automação. Ela se consolidou como uma verdadeira infraestrutura cognitiva que, quando aliada à ca-



pacidade intelectual humana, potencializa avanços tecnológicos de grande magnitude. Vale lembrar o impacto transformador provocado, décadas atrás, pela introdução das calculadoras eletrônicas portáteis e, posteriormente, dos computadores pessoais. A produtividade do engenheiro experimentou um salto qualitativo sem precedentes com a disseminação das ferramentas de projeto e simulação baseadas em CAD (*Computer-Aided Design*).

A inteligência artificial inaugura agora uma nova etapa dessa evolução. O salto potencial é ainda mais expressivo, pois a IA não apenas acelera cálculos ou simulações, mas também apoia processos de análise, tomada de decisão e geração de conhecimento. Ainda assim, essa transformação não é estranha à engenharia brasileira, que ao longo das últimas quatro décadas soube incorporar sucessivas ondas tecnológicas e convertê-las em ganho de produtividade e inovação.

Hoje a IA está presente em sistemas industriais autônomos, plataformas financeiras, gestão inteligente de redes de energia, telecomunicações, defesa cibernética e logística avançada, tornando-se elemento estruturante da nova economia digital.

É importante reconhecer que a própria dinâmica da inteligência artificial é marcada por uma velocidade de superação inédita. Neste exato momento, as tecnologias baseadas em grandes modelos de linguagem (LLMs), que recentemente revolucionaram a interação homem-máquina,

já começam a ser ampliadas e, em certos contextos, superadas por arquiteturas de IA agêntica, capazes de atuar de forma autônoma, planejar, executar tarefas complexas e interagir com múltiplos sistemas de maneira coordenada.

Nasce agora, instantaneamente, a nuvem híbrida de IA, onde cada computador, *tablet* ou *smartphone* passa a integrar uma infraestrutura de IA, suportando agentes inteligentes, autônomos, mimetizando atividades humanas especializadas. E é plausível que, no instante em que o leitor percorre estas linhas, novas abordagens já estejam emergindo, tornando ambas as tecnologias parcialmente obsoletas ou significativamente transformadas. Essa cadência acelerada de inovação impõe à engenharia não apenas a necessidade de dominar ferramentas específicas, mas também de desenvolver capacidade permanente de adaptação, pensamento sistêmico e liderança tecnológica, diante de ciclos cada vez mais curtos de disrupção.

## Projeto estratégico e soberania

Quando algoritmos, *chips* e plataformas pertencem majoritariamente a poucas nações, a autonomia decisória das demais nações torna-se limitada. Soberania digital significa capacidade de projetar, adaptar e controlar as tecnologias que estruturam a economia, da camada de aplicação ao domínio do refino das terras raras. No caso particular da engenharia, a questão é ainda mais sensível.



Essa postura condenaria o País a uma posição periférica na economia digital, restringindo nossa atuação à adaptação e operação de soluções concebidas por outros.

A atividade é, por definição, voltada à criação, projeto e construção de infraestrutura estratégica. Transformar os profissionais em operadores de plataformas estrangeiras significa abrir mão da capacidade de definir padrões, arquiteturas e prioridades tecnológicas. Portanto, eles precisam ser protagonistas na criação de soluções estratégicas. Isso implica desenvolver capacidade nacional em microeletrônica e semicondutores, projetar sistemas de IA adaptados às necessidades produtivas brasileiras, construir redes inteligentes com controle soberano sobre dados, integrar infraestrutura digital e indústria avançada e garantir segurança cibernética de infraestruturas críticas.

É fundamental que os engenheiros brasileiros sejam protagonistas ativos na concepção e no desenvolvimento das novas plataformas tecnológicas disruptivas – da inteligência artificial aos semicondutores, das redes avançadas aos sistemas ciberfísicos. Isso exige formação de ponta, ambiente de inovação robusto e políticas públicas que estimulem a capacidade de projetar, testar e industrializar soluções nacionais. A soberania tecnológica não será alcançada pelo consumo de inovação, mas pela participação efetiva na sua construção. A engenharia brasileira precisa estar na linha de frente da criação dessas

RAFAEL MACRI/PMM



Com formações sobre IA e chatbot, Prefeitura de Maringá (PR) oferece cursos gratuitos nas áreas de tecnologia e inovação.

tecnologias, e não apenas na etapa final de sua utilização.

O Brasil enfrenta desafios estruturais importantes. A reindustrialização depende da incorporação de inteligência digital à manufatura. Sem domínio tecnológico, a indústria nacional torna-se mera montadora. É necessário formar engenheiros com competências em IA, sistemas embarcados, redes avançadas, segurança cibernética e sustentabilidade energética.

Projetos estratégicos, como semicondutores, 6G, computação de alto desempenho e infraestrutura crítica, exigem articulação entre universidade, indústria e Estado, além de financiamento estruturante e previsibilidade regulatória.

Soberania tecnológica significa capacidade de escolha, negociação e autonomia



decisória. Um país soberano possui competências próprias de projeto tecnológico, participa da cadeia global como desenvolvedor, define suas prioridades industriais e protege seus dados e sua infraestrutura crítica.

Outro desafio central é o impacto energético da digitalização. Grandes modelos de IA e infraestruturas digitais consomem volumes crescentes de energia. Cabe ao engenheiro projetar sistemas energeticamente eficientes, distribuídos entre nuvem e borda, otimizados para reduzir latência e consumo e sustentáveis no longo prazo.

Ao longo da história brasileira, os grandes saltos de desenvolvimento estiveram associados à engenharia. Na era digital, a profissão precisa participar da formulação de políticas públicas tecnológicas, liderar programas estruturantes em inovação e contribuir para a reindustrialização baseada em tecnologia avançada.

A rápida transformação digital e o avanço da inteligência artificial colocam o Brasil diante de uma escolha estratégica. Ou investe na capacitação de seus engenheiros e no desenvolvimento de tecnologias críticas ou continuará dependente de plataformas externas que concentram valor e poder decisório.

O projeto *Cresce Brasil + Engenharia + Desenvolvimento* reafirma a importância de investimento e planejamento. Na era da inteligência artificial, o engenheiro é chamado a ser construtor de infraestrutura digital, guardião da autonomia tecnológica e protagonista do desenvolvimento sustentável nacional.

## Em síntese



- A transformação digital está redefinindo a economia global, e a engenharia volta ao centro dessa disputa.
- Mais do que inovação, trata-se de soberania tecnológica e autonomia decisória.
- Desenvolver capacidade nacional em tecnologias críticas, como IA, semicondutores e redes avançadas.
- Reduzir a dependência de plataformas e infraestruturas estrangeiras, que limitam a competitividade do País.
- Garantir que a engenharia brasileira participe da criação, e não apenas da aplicação dessas tecnologias.
- Formar profissionais com competências digitais avançadas, visão sistêmica e capacidade de adaptação contínua.
- Integrar inteligência digital à indústria como base da reindustrialização.
- Articular universidade, indústria e Estado em projetos estratégicos de longo prazo.
- Assegurar financiamento, escala e estabilidade regulatória para tecnologias críticas.
- Desenvolver infraestruturas digitais seguras, resilientes e com controle sobre dados.
- O Brasil precisa fazer uma escolha: investir em autonomia tecnológica ou aprofundar sua dependência.



# História de luta e trabalho em defesa da engenharia e de seus profissionais



[www.fne.org.br](http://www.fne.org.br)

# A decolagem da indústria aeronáutica brasileira



ACERVO PESSOAL



Luís Carlos  
Affonso

Vice-presidente  
de Engenharia e  
Desenvolvimento  
Tecnológico da Embraer



**O**s livros de ficção do escritor francês Júlio Verne e as formidáveis invenções do brasileiro Alberto Santos-Dumont são verdadeiras fontes de inspiração para o processo de inovação tecnológica. Seja pela literatura criativa, seja pelo desenvolvimento de máquinas disruptivas, a essência dessas duas personalidades é notada em cada pessoa que se dedica a transformar o mundo por meio da engenharia.

Em 2026, celebramos os 120 anos do primeiro voo público e homologado de um aparelho mais pesado que o ar, o 14-Bis, que Santos-Dumont ousou realizar no Campo de Bagatelle, em Paris. Ao percorrer cerca de 60 metros a três metros de altura, em 23 de outubro de 1906, o brasileiro se tornava não somente o “pai da aviação”, mas também referência para quem dedica sua vida a transformar a mobilidade aérea.

Hoje o Brasil está consolidado entre o seleto grupo de países que dominam o ciclo completo de pesquisa, desenvolvimento, fabricação, certificação, comercialização e suporte de aeronaves. Com o intenso apoio inicial do Estado, o País desenvolveu uma indústria aeroespacial e de defesa estratégica para a geração de ciência, tecnologia e inovação. E aqui cabe a reflexão sobre a importância da visão de longo prazo para se estabelecerem projetos sólidos, sustentáveis e de alto retorno para a sociedade.

A década de 1940 pavimentou o caminho do ensino e pesquisa essenciais para o impulso do setor aeronáutico nacional. A ambição pelo desenvolvimento científico e

tecnológico passava prioritariamente pelo investimento na formação de profissionais especializados. Dessa forma, a concepção do projeto de criação do Centro Técnico de Aeronáutica (CTA) e do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) pelo então Ministério da Aeronáutica, liderado pelo Marechal do Ar Casimiro Montenegro Filho, estabeleceu a orientação estratégica para a solidez do setor, complementada depois pela capacidade de identificar oportunidades de mercado, desenvolver tecnologias de ponta, organizar processos eficientes e atuar de forma global.

Mesmo em uma época em que o País não fabricava bicicletas, investir em educação e reunir pessoas inspiradoras com vontade de criar algo grandioso refletiu anos depois no surgimento de um dos maiores centros globais de produção de conhecimento aeronáutico. A criação da Embraer em 1969, como consequência desses investimentos prioritários em pessoas e pesquisa, contribuiu significativamente para promover o desenvolvimento da indústria e atividades correlatas, principalmente por meio de sua contribuição



para impulsionar a formação de pessoal técnico em parceria com entidades públicas e privadas.

## O pioneirismo do Bandeirante

A Embraer foi concebida para produção em série do bimotor Bandeirante, que se tornaria um ícone da aviação regional e precursor da moderna indústria aeronáutica brasileira. Inicialmente denominado projeto IPD/PAR 6504, o primeiro produto de exportação da indústria aeronáutica nacional foi idealizado no CTA, em São José dos Campos, interior de São Paulo, sendo o seu desenvolvimento oficialmente

**O bimotor Bandeirante, aperfeiçoado pela Embraer, além de ser um símbolo da alta tecnologia na época, teve papel fundamental no processo de integração nacional.**

autorizado em 1965. Ao ser batizada como Bandeirante, a aeronave demonstrava o seu potencial para equipar a Força Aérea Brasileira (FAB), por sua versatilidade e adaptabilidade às condições do País. Naquele momento, o projeto reuniu a colaboração de 170 empresas nacionais e um elevado grau de qualidade para atender os requisitos esperados. O primeiro voo ocorreu em 22 de outubro de 1968.

A versão do avião Bandeirante aperfeiçoado e fabricado pela Embraer chegou ao mercado em 9 de fevereiro de 1973, quando a primeira aeronave foi entregue à FAB, dentro da visão estratégica de transformar ciência e tecnologia em atividade industrial de alto valor agregado. A aeronave, além de ser um símbolo da alta tecnologia na época, teve papel fundamental no processo de integração nacional, conectando os mais diversos pontos do território brasileiro também nas asas das principais companhias aéreas locais.

A escolha por um *design* diferenciado e voltado às necessidades da aviação regional fez com que o avião Bandeirante fosse determinante para o sucesso da Embraer nos seus primeiros anos de vida e para alavancar o potencial do País nessa área. E a indústria ganhou ainda mais vitalidade com a privatização da companhia em 1994, que reuniu a cultura da excelência técnica com a agilidade que a nova dinâmica do mercado exigia para realização de negócios. Agora vemos a aeronave militar multimissão KC-390 Millennium, os jatos comerciais E2 e os jatos executivos Praetor operando no Brasil e no mundo com tecnologias modernas, mas sem perder a essência do avião pioneiro da empresa.

A alta competitividade do País nessa área é reflexo dos esforços conjuntos do poder público e da iniciativa privada, que realizaram uma colaboração de enorme valor social, dando continuidade ao legado de personalidades notáveis como Alberto



Santos-Dumont, Casimiro Montenegro Filho e Ozires Silva, o qual liderou o grupo de visionários que fundou a Embraer. Ao longo desses 56 anos, 9 mil aeronaves foram entregues em mais de 100 países e a cada dez segundos um Embraer decola para transportar 150 milhões de pessoas por ano no mundo.

A contribuição da empresa às exportações brasileiras nos últimos dez anos foi superior a US\$ 40 bilhões, e mais de 90% da produção destina-se ao mercado internacional. Em 2025 a carteira de encomendas da companhia atingiu o valor recorde de US\$ 31,6 bilhões, com receita de US\$ 7,6 bilhões, também a maior desde a sua fundação. Junto das suas empresas coligadas, a Embraer gera mais de 25 mil empregos, dos quais 5 mil profissionais dedicados à força de engenharia.

## Desafios da inovação

Manter-se inovador e estar na fronteira do conhecimento são certamente alguns dos diferenciais do Brasil no competitivo mercado aeronáutico, repleto de desafios e com demanda intensiva por tecnologia e inovação em ciclos longos. Essas características exigem investimentos contínuos para garantir a relevância de qualquer companhia que participe do segmento que está inserido em cadeias globais de valor, com uma extensa rede de parceiros e fornecedores.

O desafio não é simples, mas olhamos para o futuro com entusiasmo e confiantes

para afirmar que a indústria aeronáutica nacional tem capacidade para voar ainda mais alto. A formação estratégica e a proteção de capital intelectual, a realização de pesquisas aplicadas e as inovações que transformam a vida das pessoas e impactam a sustentabilidade do planeta estão no centro das discussões que norteiam a retomada da competitividade e neoindustrialização do País.

Sem precisar remeter à literatura de ficção, os veículos elétricos de decolagem e pouso na vertical (eVTOL) estão se tornando realidade, enquanto o Brasil demonstra enorme potencial de liderar a nova era da mobilidade aérea sustentável e a corrida global de transição energética. E como parte desse processo de exploração de novas possibilidades, constrói-se um ambiente propício para acelerar parcerias estratégicas, em sinergia com os negócios e visão de tecnologias futuras que a Embraer prioriza e entre seus “verticais de inovação”, como voo autônomo, emissões zero, airframe competitiveness, inteligência artificial, Indústria 4.0 e experiência do passageiro.

Para o sonho se tornar realidade, o papel da ciência e tecnologia precisa estar continuamente nos debates de políticas públicas e boas práticas de inovação difundidas para sensibilizar quem está em busca de caminhos que potencializem o setor. Há muitas ações já em curso, e a cooperação ainda mais intensa entre empresas, academia e o setor público,



que formam o modelo da hélice tríplice, é o caminho para ampliar a efetividade e aplicabilidade das inovações.

Nesse sentido, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), entre outros órgãos de fomento tecnológico, bem como os Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs), têm tido uma enorme relevância no apoio aos novos projetos que podem levar o Brasil a ter um maior protagonismo global. Além disso, no caso do setor aeronáutico, vale destacar que o avanço de tecnologias críticas também se reflete no transbordamento dos conhecimentos para outros setores da economia brasileira, gerando benefícios para a sociedade como um todo.

## O papel da engenharia

Mas os avanços tecnológicos contemporâneos dependem de homens e mulheres que se identificam com a dedicação, perseverança e doação daqueles que tiveram atuação marcante no passado e acreditam no futuro promissor que estamos construindo juntos. A valorização do capital intelectual, base da criação de uma escola de engenharia avançada na década de 1940, permanece vigente para fomentar a educação e o aperfeiçoamento técnico.

Por outro lado, mesmo com novas metodologias, disciplinas, ferramentas e tecnologia, na essência, ainda replicamos o modelo convencional, o que abre a oportu-



nidade de se discutir a importância de uma formação em engenharia mais contextualizada e aderente aos novos desafios do setor aeronáutico.

A introdução de novas tecnologias em uma aeronave somente se dará após um longo processo de maturação e validação, para que não haja prejuízo aos requisitos de segurança, desempenho e emissões. Isso acarreta maior necessidade de eficiência de engenharia, para que a maturação das tecnologias não consuma tempo a ponto de inviabilizar um novo produto ou negócio.

Essa realidade gera uma ampla gama de oportunidades aos profissionais que irão atuar nos diferentes estágios do ciclo de vida de um produto, fortalecendo interfaces e interações. Pela própria caracterís-





*E195-E2 Tech Eagle, aeronave de alta tecnologia lançada em outubro de 2023 pela Embraer.*

tica global do negócio aeronáutico, as parcerias com diferentes atores e empresas, distantes geograficamente e de culturas distintas, em um mesmo projeto, adicionam outros desafios e exigência de novas competências e comportamentos.

A indústria aeronáutica é um celeiro de talentos da engenharia e se espera desses profissionais, além da sólida formação técnica, a atitude de sempre buscar a melhoria contínua das atividades em que estão participando, almejar novas formas de se fazer algo, negociar com clientes, fornecedores, pares e liderança, e se comunicar adequadamente, transmitindo conceitos complexos de forma clara e objetiva.

O estímulo à formação de qualidade representa maior competitividade, pro-

moção do desenvolvimento científico e impacto positivo na sociedade. Nesse sentido, ganha cada vez mais espaço a busca de modelos de ensino baseados em projetos, focados no desenvolvimento de competências mais alinhadas ao mercado e às rotinas de inovação.

### **Investimento em formação**

A Embraer mantém parcerias com dezenas de universidades, centros de pesquisa e outras empresas em todo o mundo, formando redes que aceleram áreas de conhecimento relevantes para manter a indústria na vanguarda em todas as áreas de atuação. Entre alguns dos projetos incentivados pela Embraer, que unem o público e o privado, está o Flymov, um Centro de



Pesquisa em Engenharia (CPE) destinado a estudos para a mobilidade aérea do futuro, que favorece a construção e a disseminação do conhecimento, a formação de recursos humanos altamente qualificados e a produção de resultados científicos e tecnológicos de alto impacto.

Outro caso de sucesso, ainda no aspecto de capacitação e qualificação, é o Programa de Especialização em Engenharia (PEE), que é uma das principais portas de entrada de engenheiros e engenheiras que queiram trabalhar na Embraer. Ao longo de 25 anos, 1.800 profissionais recém-formados em

**A indústria aeronáutica é um celeiro de talentos da engenharia e se espera desses profissionais, além da sólida formação técnica, a atitude de buscar a melhoria contínua.**

diversas áreas da engenharia concluíram a iniciativa de aceleração de aprendizado para atuação em tecnologias aeronáuticas, em linha com os objetivos de ter uma maior disponibilidade de profissionais altamente qualificados e alinhados às estratégias de crescimento da companhia.

O mestrado profissional é realizado em parceria com o ITA e vive em constante evolução, para adequar a especialização dos profissionais às necessidades e de-

safios da empresa. Sua longevidade demonstra a importância estratégica das iniciativas de desenvolvimento intelectual e tecnológico que fortalecem a inovação, a diversidade, a visão holística e a cultura de engenharia reconhecida pela colaboração e criatividade.

A metodologia de aprendizagem do mestrado tem, entre outros diferenciais, o uso da estratégia de *learn by doing* (aprender fazendo), com uso de prototipagem que estimula os grupos a tornarem tangíveis soluções criadas para problemas reais, analisados enquanto desenvolvem um projeto colaborativo. Na fase final do programa, os participantes devem desenvolver, em equipe, um conceito de produto aeronáutico que atenda aos requisitos de um desafio proposto, buscando uma solução técnica e economicamente viável.

As aulas do PEE são ministradas por professores do ITA, por experientes profissionais da Embraer e consultores contratados, somando 3 mil horas de treinamento teórico e aplicado em regime de dedicação integral. A última turma foi formada por 29% de mulheres, demonstrando um ritmo crescente do interesse feminino pelo setor. Em média, o programa recebe 5 mil inscrições por ano para o processo seletivo, aberto para engenheiros de todo o Brasil.

Diante do êxito dessa estratégia educacional, a companhia decidiu replicar recentemente esse conceito para atender também a área de software e ciências de dados, por meio do Programa de Especiali-



zação em *Software* (PES), em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E apesar da abordagem técnica distinta, ambos programas se caracterizam pelo desenvolvimento das competências pessoais, relacionadas a atitudes, comportamentos e inteligência emocional que promovem o trabalho em equipe, flexibilidade, comunicação, liderança, empatia e outras habilidades emocionais e comportamentais que são igualmente importantes no ambiente de trabalho.

Em suma, há diversos outros exemplos de iniciativas de atuação conjunta de estí-

mulho à inovação e para o desenvolvimento do País, unindo a inteligência brasileira com o investimento público e privado que geram um acúmulo de conquistas e fazem a ciência e tecnologia nacional avançarem. Ao mesmo tempo, as tendências tecnológicas da indústria aeronáutica apontam para um futuro dinâmico que demanda maior capacidade das empresas para se manterem competitivas e com profissionais de engenharia que desenvolvem habilidades que transcendam as competências técnicas, sejam eles inspirados por Júlio Verne ou por Alberto Santos-Dumont.

## Em síntese



- A indústria aeronáutica brasileira mostra que visão de longo prazo e investimento em engenharia geram resultados estratégicos.
- A combinação entre Estado, formação de excelência e iniciativa privada foi decisiva para consolidar o setor.
- O desafio agora é manter competitividade em um mercado global intensivo em inovação e tecnologia.
- Garantir investimentos contínuos em pesquisa, desenvolvimento e inovação.
- Fortalecer cadeias produtivas e ampliar a inserção em mercados internacionais.
- Proteger e desenvolver o capital intelectual como base da competitividade.
- Apostar em novas fronteiras, como mobilidade aérea sustentável e tecnologias de baixo carbono.
- Ampliar parcerias entre empresas, universidades e centros de pesquisa no modelo da hélice tríplice.
- Fortalecer políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação.
- Atualizar a formação em engenharia, com maior conexão com projetos reais e desafios do setor.
- O futuro do setor depende de manter a engenharia como motor da inovação, da indústria e do desenvolvimento nacional.





**mútua**  
Caixa de Assistência dos Profissionais do Crea

# A MÚTUA É SUA PARCEIRA DE VIDA E DE PROFISSÃO.

ACESSE [MUTUA.COM.BR](http://MUTUA.COM.BR) E CONHEÇA TODOS  
OS BENEFÍCIOS DE SER MUTUALISTA



**CONFEA**  
Conselho Federal de Engenharia  
e Agronomia



**CREA**  
Conselhos Regionais de Engenharia  
e Agronomia



**mutua**  
Celo de Assistência aos Profissionais de Crea



CUIDAMOS DE **TODOS**  
CONSTRUÍMOS **JUNTOS**

☎ 61 3348-0265

📷 @mutuadeassistencia

🌐 [mutua.com.br](http://mutua.com.br)



# O Brasil no centro da revolução verde: engenharia, bioeconomia e futuro sustentável



ACERVO PESSOAL



**Arnaldo Jardim**

*Engenheiro civil,  
deputado federal e  
presidente da Comissão  
da Transição Energética  
da Câmara dos Deputados*



**A** necessidade global de combater as mudanças climáticas, longe de ser apenas um desafio, apresenta-se como a mais formidável oportunidade para o Brasil reassumir seu protagonismo no cenário internacional. Não mais baseado em *commodities* primárias, mas em ciência, tecnologia e inovação aplicadas a um modelo de desenvolvimento genuinamente sustentável. Nesse contexto, a indústria verde e a bioeconomia não são meros setores da economia; são o novo paradigma.

O papel da engenharia vai além da técnica: é entregar à sociedade soluções que harmonizem progresso, bem-estar e respeito aos limites do planeta. O caminho para um futuro próspero passa, obrigatoriamente, pela descarbonização das cadeias produtivas nacionais e pela valorização inteligente de nossos ativos biológicos.

A descarbonização é um imperativo ético e econômico. O mundo demandará cada vez mais produtos de baixa pegada de carbono. Não se trata apenas de neutralizar emissões, mas de criar valor a partir de processos limpos. O Brasil já é uma potência nesse campo, graças à sua matriz energética renovável e ao sucesso dos biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel.

O RenovaBio é um exemplo de como podemos incentivar a produção de energia limpa com segurança jurídica e previsibilidade. O próximo salto está no bioquerosene de aviação (SAF) e nos bioprodutos de alto valor agregado.

Essa transição, no entanto, só se consolida com a construção de cadeias produtivas integradas. Da porteira ao mercado externo,

é preciso rastrear, certificar e agregar valor, garantindo que a sustentabilidade seja um critério de qualidade e competitividade. As engenharias Florestal e Agrícola têm aqui um papel crucial. São os profissionais dessas modalidades agentes do agro sustentável, os responsáveis por desenvolver e aplicar tecnologias de baixo carbono, como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), a fixação biológica de nitrogênio, o manejo florestal de precisão e a recuperação de pastagens degradadas. Eles são a ponte entre a produtividade necessária para alimentar o mundo e a preservação que garantirá nossa sobrevivência coletiva.

Mas é impossível falar em bioeconomia e sustentabilidade sem colocar a Amazônia no centro da estratégia. É imprescindível compreendê-la como “fronteira tecnológica sustentável”, única visão aceitável e possível. É preciso enxergá-la não como um obstáculo ao desenvolvimento, mas como um laboratório vivo de soluções para o século XXI. Isso significa investir massivamente em ciência, tecnologia e inovação. Desenvolver fármacos, cosméticos,



bioinsumos, fibras especiais e alimentos únicos a partir do conhecimento tradicional associado à biotecnologia de ponta. A bioeconomia de floresta em pé gera emprego, renda de qualidade e mantém os serviços ecossistêmicos essenciais para o equilíbrio climático do planeta.

Para que essa visão se torne realidade, o papel do engenheiro – em todas as suas especialidades – é fundamental. Precisamos de profissionais criando novos materiais a partir de resíduos, projetando biorrefinarias eficientes, desenvolvendo logística reversa inteligente, implementando *smart grids* para energias renováveis e construindo infraestruturas resilientes e adaptadas às mudanças climáticas.

**O Brasil possui a terra, o sol, a água, a biodiversidade e o talento humano. Unir esses fatores em um projeto nacional de desenvolvimento sustentável é a missão.**

Na Comissão da Transição Energética, trabalhamos para construir o marco regulatório que incentive esse salto. Debater o hidrogênio verde, a expansão das fontes renováveis não intermitentes, a modernização do setor sucroenergético e a regulamentação do mercado de carbono

FABIO RODRIGUES POZZEBOM/AGÊNCIA BRASIL



é parte desse esforço. Além disso, a criação de um mercado regulado de carbono pode ser um poderoso instrumento para financiar a economia verde, atraindo investimentos para projetos de conservação e tecnologias limpas.

O Brasil possui a terra, o sol, a água, a biodiversidade e o talento humano. Tem a maior profissão regulamentada das Américas: a engenharia. Unir esses fatores em um projeto nacional de desenvolvimento sustentável é a missão. A Federação Nacional dos Engenheiros (FNE), ao congrega esses profissionais, tem a responsabilidade e a honra de liderar esse movimento.

Como engenheiro e parlamentar, sigo comprometido em trabalhar para que o Brasil não apenas acompanhe, mas lidere a revolução verde global. O futuro é bio e tecnológico e será, inevitavelmente, “engenheirado”.





Cenas da Amazônia: floresta margeada pelo Rio Negro.

## Em síntese



- A transição climática não é apenas um desafio, mas uma oportunidade para o Brasil liderar a economia verde.
- O caminho passa por descarbonizar cadeias produtivas e transformar sustentabilidade em vantagem competitiva.
- Ampliar e diversificar a produção de biocombustíveis, com destaque para novas fronteiras como o SAF e bioprodutos avançados.
- Integrar cadeias produtivas do campo à indústria, com rastreabilidade, certificação e agregação de valor.
- Fortalecer a adoção de tecnologias de baixo carbono no agro, como ILPF, bioinsumos e recuperação de áreas degradadas.
- Colocar a Amazônia no centro da estratégia, como fronteira tecnológica da bioeconomia.
- Investir em ciência, inovação e desenvolvimento de produtos de alto valor agregado a partir da biodiversidade.
- Ampliar o papel da engenharia em soluções sustentáveis, como biorrefinarias, logística reversa e novas infraestruturas.
- Avançar em marcos regulatórios e instrumentos econômicos, como o mercado de carbono.
- Mobilizar investimentos públicos e privados para viabilizar a transição verde em escala.
- O desafio é articular esses ativos em um projeto nacional que combine desenvolvimento, sustentabilidade e protagonismo global.



## Terras raras: insumo estratégico para o desenvolvimento

Há hoje uma corrida global pelos minerais essenciais à transição energética, à digitalização e ao avanço da inteligência artificial. O Brasil, cujas reservas ainda não são plenamente conhecidas, já ocupa posição privilegiada nesse cenário. Para transformar esse potencial em desenvolvimento concreto, no entanto, é indispensável uma política nacional consistente, alinhada aos interesses estratégicos do País.

A exploração de terras raras representa uma oportunidade singular de fortalecer a engenharia nacional e ampliar a capacidade tecnológica brasileira, desde a prospecção até o processamento e a aplicação industrial desses insumos. O desafio central não é apenas extrair, mas também estruturar uma cadeia de valor integrada no território nacional.

Para isso, é fundamental avançar em três frentes. A primeira é o conhecimento geológico. Hoje apenas cerca de um quarto do território brasileiro está adequadamente mapeado, o que limita decisões de investimento e planejamento. Ampliar esse mapeamento é condição básica para reduzir riscos e orientar políticas públicas.

A segunda é a governança. O País precisa de instrumentos institucionais capazes de definir prioridades, coordenar ações e garantir que a exploração desses recursos ocorra com segurança ambiental, responsabilidade social e foco no interesse nacional.

A terceira frente é o desenvolvimento da cadeia produtiva. O Brasil possui uma das maiores reservas de terras raras do mundo, mas ainda opera majoritariamente na exportação de produtos de baixo valor agregado. Superar esse modelo exige investimento em tecnologia, inovação e beneficiamento local, evitando a repetição histórica da exportação de matéria-prima e da importação de produtos industrializados.

Nesse contexto, é essencial criar condições para estimular todos os elos da cadeia, incluindo a pesquisa mineral, a atuação de empresas de prospecção e o avanço da transformação industrial. Também ganha relevância a chamada mineração urbana, com a recuperação de minerais estratégicos a partir de equipamentos eletrônicos descartados, promovendo economia circular e sustentabilidade.

O desenvolvimento dessas cadeias produtivas pode posicionar o Brasil de forma competitiva no cenário internacional, reduzir a dependência externa e fortalecer a indústria nacional. Trata-se de uma agenda que combina inovação, sustentabilidade e soberania.

Mais do que uma oportunidade econômica, os minerais críticos e estratégicos representam um ativo decisivo para o futuro do País. Cabe ao Brasil definir se continuará sendo exportador de recursos ou se assumirá o protagonismo na nova economia global baseada em tecnologia. *(Arnaldo Jardim)*





**PARTE 2**

# **Soberania nacional**



# Energia: renda, regulação e reindustrialização



ACERVO PESSOAL



Ildo Sauer

Professor titular do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE/USP), foi diretor da Petrobras



**A** compreensão dos dilemas energéticos contemporâneos e das crises que assolam o modelo brasileiro exige, preliminarmente, um mergulho na história da relação entre a humanidade e a energia sob a ótica da termodinâmica e da economia política. A trajetória da civilização, desde o surgimento dos caçadores-coletores há cerca de 2 milhões de anos e sua evolução para *Homo sapiens* há mais de 200 mil anos, é indissociável das formas de captura, conversão e apropriação de energia, com o controle do fogo.

Durante a maior parte desse percurso, a existência humana esteve estritamente condicionada pelas chamadas energias de fluxo, caracterizadas por uma baixa Taxa de Retorno Energético (*EROI – Energy Return on Investment*). O esforço metabólico para capturar energia era quase equivalente à energia obtida, mantendo a humanidade em um estado de equilíbrio dinâmico com a biosfera, mas com um excedente social residual.

A expressão máxima dessa fase é a fotossíntese recente, processo biológico que converte a dissipação da energia solar em biomassa, sustentando a vida e as atividades sociais primordiais. A esse fluxo solar somam-se outros processos naturais fundamentais, como o ciclo hidrológico – motor da agricultura e da regulação ambiental – e o ciclo eólico, ambos resultantes da interação da radiação solar com a atmosfera e a gravidade terrestre, no contexto dos ciclos biogeoquímicos. Nesse estágio, o homem era apenas um conversor biológico de baixa eficiência; sua potência estava limitada pela sua

própria biologia e pela taxa de renovação da biosfera.

Com a Revolução Agrícola, há aproximadamente 12 mil anos, o homem passou a domesticar esses fluxos, concentrando a fotossíntese em territórios controlados. Esse avanço permitiu um crescimento demográfico significativo, levando a população global a cerca de 700 milhões de habitantes no século XVIII. Contudo, o modelo agrícola de fluxo esbarrou em um limite geográfico e ecológico intransponível: a competição pelo uso do solo. O mesmo território necessário para a produção de alimentos era disputado pela produção de biomassa energética, como a lenha e o carvão vegetal, essenciais para a metalurgia e o aquecimento, criando um gargalo que impedia a expansão das forças produtivas.

A grande ruptura histórica, que marca o nascimento da era moderna, ocorreu com a transição para as energias de estoque. A Revolução Industrial não foi apenas um salto tecnológico, mas também a captura da exergia acumulada – o potencial de trabalho útil estocado quimicamente no car-



vão mineral ao longo de eras geológicas. Ao acessar esse estoque fóssil, a humanidade passou a consumir a “fotossíntese estocada” de milhões de anos. A utilização da máquina a vapor – que converte calor em trabalho mecânico por meio de pistões e êmbolos – permitiu, pela primeira vez, a substituição da força de trabalho biológica (humana e animal) pela energia mecânica de origem fóssil de alta densidade.

Dessa transformação emergiu a metáfora dos “servos energéticos”: cada máquina operando com combustíveis fósseis passou a disponibilizar uma potência equivalente ao trabalho de dezenas, e depois milhares, de seres humanos ou animais, principalmente cavalos. Um cidadão médio em uma sociedade industrial passou a dispor de uma “escravidão energética” invisível, onde motores e turbinas realizam o esforço que antes exigiria exércitos de trabalhadores e animais.

Essa transição alterou a natureza do poder político. Se antes o poder residia no controle sobre a terra e na mão de obra direta (fluxo), na era industrial o poder deslocou-se para o controle sobre a exergia dos estoques e as máquinas de conversão. O capital consolidou sua hegemonia ao desvincular a produção dos ciclos circadianos e sazonais; as máquinas não dormem e sua potência não cansa. É nesse fundamento termodinâmico que se ancora o sistema capitalista: a conversão de estoques finitos de baixa entropia em fluxos de acumulação de capital. Essa base material permitiu

a explosão populacional, mas estabeleceu os limites da crise climática atual, ao confrontarmos a exaustão desses estoques e a necessidade imperativa de retornar a uma base de fluxos, agora sob formas tecnológicas de alta complexidade.

## Hegemonia do petróleo e disputa pelo excedente econômico

Se o carvão mineral foi o motor da primeira fase da Revolução Industrial, o século XX marcou a ascensão do petróleo e seus derivados e da eletricidade como a força motriz definitiva da expansão capitalista global. Sob a perspectiva da economia política, a hegemonia do petróleo não se explica apenas por sua densidade energética superior ou facilidade de transporte, mas também pela sua capacidade extraordinária de gerar mais-valia relativa e rendas de monopólio.

Diferente de outras mercadorias industriais, cujo valor tende ao custo médio de produção acrescido da taxa de lucro, o valor do petróleo no mercado internacional é balizado não apenas pelo custo da jazida mais marginal (a mais cara e tecnologicamente complexa). Tem a influência do poder de controlar as reservas e ritmos de produção do oligopólio da Organização dos Países Exportadores de Petróleo e juntamente com outros grandes produtores (Opep+) e do preço de produção da alternativa fora de seu controle, a liquefação do carvão mineral (tipicamente US\$ 80), para



produzir os derivados necessários para suprir a demanda global.

Essa estrutura permite que jazidas de alta produtividade, geologia favorável e baixo custo de extração – como as encontradas no Oriente Médio e, de forma superlativa, no pré-sal brasileiro – gerem um excedente econômico massivo, tecnicamente definido como renda de monopólio (da Opep+). Este excedente é a diferença entre o preço de mercado ditado pela disposição de pagar dos demandantes e o custo de produção (incluindo o trabalho aplicado e recuperação e a remuneração normal do capital), representando a captura de uma riqueza que a natureza concentrou ao longo de eras geológicas.

Tal excedente, que em última instância representa trabalho social apropriado sob a forma de renda, é o epicentro das disputas geopolíticas contemporâneas. No caso brasileiro, a descoberta das reservas do pré-sal posicionou o País em um novo patamar estratégico, elevando-o à condição de um dos maiores produtores globais. No entanto, a gestão desse recurso tem sido marcada por um conflito distributivo em que a sociedade brasileira figura como a principal perdedora.

Estima-se, com base em análises do fluxo de caixa do setor e dos preços internacionais, que o excedente econômico gerado pelo petróleo no Brasil atinja a magnitude de US\$ 100 bilhões por ano – uma cifra superior ao Produto Interno Bruto (PIB) de muitos países. Atualmente

esse montante é “destruído” socialmente ou transferido para o sistema financeiro e acionistas transnacionais por meio da Política de Preço de Paridade de Importação (PPI). A estratégia de desverticalização da Petrobras e a venda de ativos estruturantes (refinarias, gasodutos e subsidiárias de distribuição) não são meras decisões de gestão empresarial, mas o desmonte do aparato de captura e redistribuição da renda petrolífera em favor do povo brasileiro.

**Estima-se que o excedente econômico gerado pelo petróleo no Brasil atinja US\$ 100 bi ao ano, montante transferido para o sistema financeiro e acionistas transnacionais.**

A “destruição” desse excedente ocorre quando o Estado renuncia ao seu papel de capturador soberano da renda petrolífera para fins de desenvolvimento social. Em vez de utilizar esses US\$ 100 bilhões anuais como um “passaporte para o futuro” – financiando a educação pública, o sistema de saúde, a infraestrutura e a transição para uma nova base de energias de fluxo –, o modelo atual subordina a riqueza nacional à lógica da acumulação primitiva de curto prazo dos detentores de capital. A política de preços altos no mercado interno, desvinculada dos custos reais de pro-





GOVERNO DO PIAUÍ

*Complexo Solar Marangatu, no município de Brasileira (PI).*

dução nacional (que são majoritariamente em reais), funciona como um mecanismo de transferência regressiva de renda em escala continental: retira-se poder de compra das massas e competitividade da indústria nacional para inflar dividendos em Wall Street e na B3.

Portanto, o desafio da economia política hoje não é apenas técnico ou ambiental, mas essencialmente soberano. A transição energética, tão propalada nos fóruns

internacionais, corre o risco de ser, para o Brasil, uma nova forma de dependência tecnológica e financeira, se não houver a apropriação pública desse excedente econômico. O petróleo deve ser compreendido como o recurso finito que financiará a sua própria substituição. Sem a recuperação da renda petrolífera e a reafirmação da Petrobras como operadora estratégica, verticalizada e integrada, o Brasil continuará a praticar o arcaísmo de exportar óleo bruto e importar tecnologia e derivados refinados. Será desperdiçada a última grande oportunidade histórica de converter o estoque fóssil em capital humano, ciência e infraestrutura sustentável para as gerações vindouras, garantindo que o fim da era do petróleo não signifique o retorno à insignificância econômica.

## Inépcia planejada no setor elétrico

Se a hegemonia do petróleo demonstra a disputa pela renda de um recurso de estoque, o setor elétrico brasileiro revela as contradições da tentativa de mercantilizar um sistema baseado em fluxos. A crise estrutural que enfrentamos não é um fenômeno da natureza, mas o resultado de um “mimetismo regulatório” que tentou impor ao Brasil, a partir da década de 1990, modelos desenhados para realidades termelétricas (como o britânico), onde o custo é ditado pelo combustível. No Brasil, contudo, o “combustível” é a água e, cada vez mais, o vento e o sol –



recursos de custo marginal nulo, regidos por ciclos hidrológicos aleatórios e sazonais que não se coadunam com a lógica de curto prazo dos mercados de capitais.

A substituição do modelo de regulação pelo custo do serviço (comando e controle) pelo paradigma do custo marginal representou uma ruptura profunda na economia política do setor. No modelo anterior, as tarifas refletiam o custo real de operação, manutenção e amortização dos ativos, garantindo que o excedente econômico gerado pelas grandes hidrelétricas – a chamada “renda hidráulica” – fosse socializado via modicidade tarifária. Com a mudança, introduzida nos anos 1990, o preço passou a ser balizado pela última unidade de energia necessária para atender à demanda (geralmente uma térmica cara).

Essa mudança permitiu uma captura de renda sem precedentes: usinas hidrelétricas já amortizadas passaram a receber preços de mercado inflados, transferindo o excedente que antes fomentava a indústria e o bem-estar social diretamente ao lucro de agentes financeiros. Essa lógica é disfuncional para um sistema interligado e de base renovável. O sinal de preço marginal (PLD), em um ambiente de abundância hídrica, tende a zero, desestimulando novos investimentos. Em contrapartida, na escassez, ele explode, punindo o consumidor sem garantir a segurança do suprimento. O resultado é um sistema onde o consumidor paga o preço da escassez mesmo quando

há abundância física, devido à gestão financeira dos contratos.

## A gênese da crise

O racionamento de 2001 foi a prova cabal da falência desse modelo. A proibição de investimentos pelas estatais e a inércia do capital privado diante da volatilidade dos sinais de preço paralisaram a expansão. Em resposta a esse colapso, defendia-se uma reconstrução profunda, baseada na competição pelo mercado e não no mercado, assentada no retorno ao planejamento estratégico, onde a energia é tratada como infraestrutura de Estado e não como mercadoria especulativa.

Infelizmente, as reformas posteriores mantiveram um caráter híbrido. Criou-se uma “crise permanente” (Sauer, 2015), onde o planejamento foi substituído por ajustes casuísticos. A introdução do Ambiente de Contratação Livre (ACL) aprofundou essa ferida social, permitindo que grandes consumidores capturassem a “energia barata” das hidrelétricas antigas através de contratos bilaterais vantajosos. Enquanto isso, o consumidor cativo (residencial e pequenas empresas) foi transformado em um “mercado cativo”, sobrecarregado com os custos de transmissão, subsídios cruzados e as novas usinas térmicas ineficientes, muitas vezes contratadas sob pressão de grupos de interesse legislativo.

## Caminho para a reconstrução

A reconstrução do setor exige o resgate de princípios como a contratação por cus-



to real e a gestão sistêmica do excedente. É imperativo reconhecer que a eficiência do modelo brasileiro reside na coordenação centralizada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) e na otimização dos reservatórios – nossa “bateria natural”. A regulação deve abandonar o mito da competição atomizada e retomar o papel de garantir que as vantagens naturais do território brasileiro sejam convertidas em desenvolvimento soberano.

A “inépcia planejada”, que hoje domina órgãos como a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e o próprio ONS, deve ser superada por uma governança que priorize a modicidade tarifária e a segurança energética. Não se trata apenas de expandir a oferta, mas também de reorganizar a transmissão para capturar as energias eólica e solar onde elas são mais produtivas e levá-las aos centros de consumo, utilizando a hidroeletricidade como estabilizadora técnica do sistema. Tratar o fluxo das águas e o potencial do sol e do vento como ativos da nação é a única via para que a energia deixe de ser um dreno de renda e volte a ser o motor da produtividade econômica nacional.

## Transição energética em disputa

O debate contemporâneo sobre a transição energética é, em última instância, um debate sobre a continuidade ou a superação da lógica de acumulação baseada na captura de rendas. Enquanto o mundo se

volta às fontes renováveis (solar e eólica), retornando tecnologicamente à era dos fluxos, o capital financeiro tenta mimetizar a mesma estrutura de escassez e precificação marginal que caracterizou a era dos fósseis. O objetivo do rentismo é desvincular o preço da energia do seu baixo custo de produção nas fontes renováveis, criando um “pedágio financeiro” sobre o fluxo hídrico, solar e eólico.

**O debate contemporâneo sobre a transição energética é, em última instância, sobre a continuidade ou a superação da lógica de acumulação baseada na captura de rendas.**

No Brasil, o potencial de geração solar e eólica é abundante, mas sua integração ao sistema hidrotérmico tem sido feita de forma desordenada e sob uma regulação que privilegia o lucro de curto prazo dos investidores em detrimento da segurança do sistema. A transição não pode ser apenas uma substituição tecnológica de fontes; ela deve ser uma mudança na filosofia de apropriação do excedente econômico. Se for permitido que o preço das energias solar e eólica, que possuem custo marginal de operação próximo de zero, seja balizado pela última térmica despachada ou por in-



indices inflacionários arbitrários, será criada uma nova fronteira de transferência de renda da população para os proprietários dos meios de geração.

O potencial combinado de geração hidráulica (cerca de 250 GW) do eólico (no mínimo 750 GW) e do solar, incomensurável e distribuído, permitiria atender toda a demanda elétrica, mesmo dobrando o consumo médio (hoje 3 MWh/capita), inclusive para alterar a mobilidade de pessoas e mercadorias, substituindo os combustíveis líquidos por eletricidade para veículos leves, ônibus, caminhões, trens e mesmo embarcações nas hidrovias. Sequer sabemos o potencial eólico, pois, contrariando o conceito do art. 20 da Constituição, os potenciais eólicos foram privatizados aos detentores dos terrenos e sujeitos aos processos de despossessão por investidores.

## Unificação das rendas

O que se propõe é a gestão integrada das rendas energéticas. O excedente de US\$ 100 bilhões anuais proveniente do petróleo (estoque) deve ser o lastro financeiro para a construção da infraestrutura de fluxos do futuro. É uma contradição histórica que o Brasil, detentor de uma das maiores reservas de hidrocarbonetos do mundo e de um sistema elétrico renovável único, figure entre as tarifas de energia mais caras do planeta. Essa é a “doença holandesa” da regulação: há o recurso, mas a regra de mercado impede que ele beneficie a produtividade nacional.

Essa anomalia decorre da “destruição” do excedente econômico mencionado anteriormente. Quando o Estado abdica de capturar a renda do pré-sal e permite a mercantilização desenfreada do setor elétrico, subtrai à nação a sua maior vantagem competitiva. A proposta de reconstrução passa por utilizar a renda do petróleo para subsidiar a transição tecnológica e energética e garantir que a energia elétrica volte a ser um insumo produtivo barato, capaz de reindustrializar o País. A renda do petróleo e das hidrelétricas deve financiar a infraestrutura de transmissão que conectará os ventos do Nordeste aos reservatórios do Sudeste, criando um sistema de “custo zero de combustível” que derrube o custo de vida e de produção. A soberania energética, portanto, é a capacidade de usar a riqueza do subsolo (estoque) e do potencial hidráulico, garantidos como bens nacionais no art. 20 da Constituição, para libertar a sociedade da escravidão tarifária e dos preços elevados dos derivados de petróleo e gás natural.

## A captura do planejamento

A análise da situação energética brasileira atual revela que a transição do modelo de concessão para o de partilha no petróleo foi, em grande medida, um simulacro regulatório que não alterou a lógica de acumulação. Embora o pré-sal tenha sido anunciado como o “passaporte para o futuro”, consolidou-se uma estrutura de sucção de excedente que ignora o art. 20 da Consti-



tuição Federal, transformando recursos estratégicos da União em ativos de remuneração imediata para o sistema financeiro transnacional, através de uma governança de resultados trimestrais que ignora o ciclo de desenvolvimento geracional.

O excedente econômico gerado pelo pré-sal é resultado de uma produtividade excepcional, fruto de décadas de investimento estatal em C,T&I: o custo direto de produção (*lifting cost*: recuperação dos custos de capital e trabalho) situa-se entre US\$ 10 e US\$ 15 por barril, enquanto o preço de mercado internacional oscila entre US\$ 70 e US\$ 100. Isso permite um excedente econômico de até US\$ 100 bilhões anuais, com a produção anual de mais de 1,5 bilhão de barris de petróleo e gás natural, cujo uso estratégico deveria ser no desenvolvimento econômico e social do País. Afinal são recursos que a geração atual subtrai das futuras.

Parte vai nas transferências por *royalties* e participações especiais (cerca de US\$ 15 por barril, US\$ 10 a 15 bilhões anuais), pagos aos entes federativos, com baixo retorno social. Outra parcela vai para imposto de renda sobre o lucro e PIS/Cofins, de 35%, (cerca de US\$ 15, outros US\$ 10 a 15 bilhões anuais). Resta um lucro líquido extraordinário que atinge a magnitude de até US\$ 70 bilhões anuais. No atual modelo regulatório, iniciado nos anos 1990 e substancialmente mantido desde então, a Petrobras detém cerca de 65%, e o restante pertence a em-

presas como Shell, Total, Repsol, Equinor, estatais chinesas e outras.

Contudo, se 35% do excedente é privado, principalmente estrangeiro, mesmo a repartição de fração de 65% da riqueza da Petrobras evidencia o seu papel, na estrutura institucional vigente, como plataforma de transferência de renda: com cerca de 62% de seu capital total em mãos privadas – sendo que 46% a 48% pertencem a fundos internacionais e detentores de American Depositary Receipts (ADRs) na Bolsa de Nova York (20%) e o restante na Bolsa de São Paulo –, a maior parte dos dividendos evade o território nacional. Enquanto isso, o Tesouro Nacional detém apenas cerca de 28% do capital total, e a parcela que recebe é frequentemente sequestrada para a amortização de juros da dívida pública, em um ciclo que asfixia o investimento social. O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) detém mais cerca de 10%.

No refino, a “inépcia planejada” é flagrante: o abandono de projetos estratégicos de expansão tornou o País refém de exportar óleo bruto e importar derivados caros sob a lógica do Preço de Paridade de Importação (PPI), terceirizando a segurança energética e garantindo a margem de lucro de importadores em detrimento da estabilidade inflacionária nacional. A capacidade de refino instalada se situa em torno de 2 milhões de barris por dia, sendo pouco mais de 80% da Petrobras e o restante privado, insuficiente para atender a demanda nacional.





Barragem da Usina Hidrelétrica de Estreito (UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho) no Rio Grande, na divisa entre Pedregulho (SP) e Sacramento (MG).

## Biocombustíveis e crise da produtividade

A agenda de substituição dos combustíveis fósseis e a Lei do Combustível do Futuro devem ser analisadas sob a ótica da produtividade do sistema como um todo. Hoje há uma forte assimetria de custos: enquanto o diesel fóssil é produzido a partir do petróleo bruto, com uma margem de refino relativamente baixa (entre US\$ 5 e US\$ 8 por barril), resultando em um custo em torno de US\$ 80 por barril na refinaria, o biodiesel pode chegar a valores entre US\$ 120 e US\$ 150 por barril – quase o dobro. Já o etanol tem custos de produção muito inferiores ao biodiesel, cerca de US\$ 40 a US\$ 60 por barril equivalente.

Porém, em ambos os casos, não há transferências (*royalties*, participações especiais, impostos sobre a renda e PIS/Cofins), tampouco há lucros extraordinários para as empresas. Incidem ainda o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) e a Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico (*Cide*), favorecida para etanol e biodiesel. Diferente do petróleo, que sustenta o excedente mundial (20% do excedente do PIB global vem dos fósseis), a substituição por fontes de biomassa mais caras, sem soluções que aumentem a eficiência do transporte, resulta em transferência de renda da população para grupos específicos do agro-negócio. Ao elevar compulsoriamente a



mistura sem contrapartida de ganho calórico ou redução de preço, o Estado impõe um “imposto verde” regressivo sobre o frete e o alimento.

Sem equilíbrio, o Brasil arrisca aprofundar a desindustrialização precoce por choque de custos, reproduzindo a crise energética europeia que, ao abdicar de energia barata, em razão das escolhas políticas feitas devido à guerra da Ucrânia, viu seus parques industriais migrarem para regiões de menor custo exergético. Quando o País era importador de petróleo e enfrentava escassez de divisas, a produção de etanol era plenamente justificada. Esse raciocínio continua válido hoje, desde que o petróleo substituído pelo etanol seja exportado e que a receita adicional gerada com essa exportação seja apropriada socialmente.

Os custos econômicos – representados pela redução do excedente, no caso do etanol, e pelas elevadas subvenções, no caso do biodiesel – devem ser comparados aos benefícios ambientais e sociais. Essa análise também precisa considerar outras alternativas de redução de emissões, como o reflorestamento, além dos ganhos associados ao uso da terra para a produção de alimentos, fibras, madeira para papel e celulose e para a indústria moveleira.

### Frankenstein regulatório

No setor elétrico, a fragmentação institucional produziu um modelo “Frankenstein” que separa o lastro (capacidade) da

energia (consumo). O Brasil possui o diferencial competitivo de uma “bateria natural” de escala continental: reservatórios hidrelétricos com capacidade de estocar cerca de um terço do consumo anual, permitindo a integração perfeita da variabilidade eólica e solar. No entanto, esse potencial é sabotado por um modelo de precificação marginal que privilegia térmicas. O modelo em vigor e as estratégias de contratação da capacidade de expansão da geração elétrica, que poderia ser 100% renovável, têm permitido uma participação elevada de geração térmica, a carvão e a gás natural liquefeito (GNL) importado.

**As estratégias de contratação da capacidade de expansão da geração elétrica, que poderia ser 100% renovável, têm permitido uma participação elevada de geração térmica.**

Isso se dá em função dos critérios de escolha dos vencedores nos leilões, especialmente na definição do custo variável unitário (CVU), e na previsão da geração térmica futura, com duas consequências: a) o setor elétrico está ancorando uma aventura desnecessária de acoplar a geração elétrica ao GNL importado; b) geração efetiva muito superior à prevista no leilão, criando um ônus para o custo da eletricidade.



Nos últimos 15 anos, usinas térmicas despachadas com custo superior a R\$ 200/MWh (quando as alternativas hidráulica, eólica e fotovoltaica têm custos totais inferiores a R\$ 180/MWh) geraram uma perda social superior a R\$ 250 bilhões, impactando os consumidores do mercado cativo e a competitividade da economia, além de emissões de gases de efeito estufa evitáveis. Investimento (inferior a 20% dessa perda) em usinas eólicas, fotovoltaicas e hidráulicas, combinado com expansão da capacidade de transmissão, teria permitido atender a demanda, prescindindo da geração térmica, que poderia ser mantida apenas como reserva para situações extremas. Essa configuração requer a revisão total dos conceitos subjacentes ao planejamento e contratação da expansão das capacidades de geração e transmissão e aos critérios de operação do sistema interligado nacional.

O Congresso Nacional tem atuado como “despachante de interesses”, impondo a contratação de usinas térmicas a gás em locais sem gasodutos ou demanda, os chamados “jabutis” legislativos. Essa reserva de mercado forçada eleva o custo sistêmico para favorecer grupos de pressão locais (como no caso da privatização da Eletrobras), resultando em energia “aprisionada” no Nordeste por gargalos de transmissão, enquanto o Sudeste consome geração fóssil cara e poluente sob o pretexto de “segurança do sistema”.

Um dos aspectos mais insidiosos da atual crise é a privatização do conheci-

mento técnico sobre o potencial energético. Enquanto o Código de Águas de 1934 garantiu ao Estado o mapeamento do potencial hidráulico, hoje o mapeamento eólico e solar é tratado como segredo comercial ou pertence a especuladores territoriais que ocupam áreas estratégicas por valores irrisórios, aguardando a valorização dos leilões. Essa falta de soberania sobre a informação técnica impede que o Estado planeje a expansão com base na eficiência logística.

Para as distribuidoras, a regulação por incentivos (*price-cap*) criou um perverso desestímulo à manutenção preventiva: as empresas maximizam lucros no curto prazo ao negligenciar a rede e, diante de falhas sistêmicas (como os recentes apagões urbanos), utilizam os eventos climáticos como biombo retórico para ocultar o sucateamento deliberado das instalações, visando novas rodadas de reajustes tarifários extraordinários.

## Geração distribuída e desigualdade tarifária

O crescimento da geração distribuída (GD) no Brasil tornou-se um vetor de desigualdade social. Ao permitir que consumidores de alta renda injetem energia na rede sem pagar integralmente pelo uso do fio e pelos serviços de estabilidade (bateria do sistema), o modelo atual sobrecarrega famílias e pequenos negócios. Cria-se um subsídio reverso onde os mais pobres, impossibilitados de investir em tecnologia solar, pa-





Complexo Eólico Campo Largo (BA).

gam pela manutenção da rede utilizada pelos mais ricos. Essa assimetria desonera quem tem poder de investimento e penaliza a base do consumo nacional, retirando a competitividade da pequena indústria, que não consegue escapar das tarifas reguladas.

A assimetria na alocação de custos e riscos entre os mercados regulado e de livre contratação tem funcionado como mecanismo de transferência de excedente econômico em favor dos grandes consumidores, ditos livres. A pergunta essencial é: se havia energia barata disponível, por que o acesso a ela foi privilégio para os grandes consumidores, beneficiados por transferências superiores a R\$ 20 bilhões? Isso foi resultado do modelo regulatório de 2004, que implementou os mercados de livre contratação e regulado.

## Soberania e futuro

A crise energética brasileira não é um acidente geológico ou um destino manifesto; é uma construção deliberada da inépcia planejada e do mimetismo regulatório. A trajetória humana – da precariedade dos fluxos biológicos à potência dos estoques minerais – permitiu um salto civilizatório sem precedentes. Contudo, a forma como o capitalismo contemporâneo se apropriou desses estoques, transformando exergia em expropriação, gerou as crises distributivas e climáticas que hoje ameaçam o tecido social brasileiro.

O ponto cego do debate nacional foi, por décadas, a distração em torno da dicotomia simplista entre privatização *versus* estatização. Enquanto a opinião pública debatia falsos dogmas ideológicos, a mudança silenciosa na filosofia de regulação alterava



a essência da questão: quem fica com o excedente econômico? A transição de um modelo de custo para um modelo de preço marginal não foi um avanço técnico, mas um mecanismo de captura da renda do petróleo e da renda hidráulica por agentes que não contribuem para a produção física, mas apenas para a especulação financeira.

A energia deve ser tratada como direito de cidadania e insumo estratégico de Estado, e não como uma mercadoria sujeita à volatilidade de balcões de negócios. Para resgatar o futuro, três pilares são inegociáveis:

1) *Retomada da renda petrolífera* – Um novo equilíbrio na destinação do excedente para a população (via investimento público em educação, saúde, reforma urbana e agrária, transição energética) e para os consumidores, aumentando o bem-estar das famílias e a competitividade das empresas. Ainda, é urgente a recomposição da Petrobras como empresa integrada, tornando-a operadora de toda a produção de petróleo, em contratos de partilha já previstos na legislação. O excedente de até US\$ 100 bilhões anuais não pode continuar financiando dividendos para fundos financeiros apenas; deve ser o lastro financeiro da transição energética, da saúde e da educação nacional. O Estado deve viabilizar o esforço exploratório para determinar o montante de recursos existentes no pré-sal, na Margem Equatorial e em outras áreas, como elemento essencial para planejar sua utilização. O País deve se associar à Opep+ para

participar do esforço de manutenção do preço do petróleo, de forma a capturar sua renda. Para isso, tem que conhecer seus recursos e ser capaz de determinar o ritmo de produção de forma coordenada com os demais exportadores.

2) *Planejamento centrado no interesse público* – É imperativo retirar das mãos de órgãos capturados pelo rentismo a função de decidir a expansão do sistema. O Estado deve retomar o mapeamento do potencial solar e eólico como patrimônio público, impedindo a privatização do conhecimento e do território.

3) *Modicidade tarifária como motor da indústria* – A renda hidráulica das usinas amortizadas pertence ao povo brasileiro. Socializar esses ganhos de produtividade é a única forma de reindustrializar o País, transformando nossa “bateria natural” em uma vantagem competitiva que reduza o custo de vida e gere empregos de alta qualificação.

A transição energética soberana não é apenas trocar o carbono pelo elétron; é substituir a lógica do estoque de capital pela do fluxo do bem-estar social. Não podemos aceitar que o Brasil, um gigante energético por natureza, continue a mendigar investimentos enquanto exporta sua riqueza bruta e importa inflação. Recuperar o excedente econômico é, acima de tudo, resgatar a dignidade da política e a capacidade da nação brasileira de decidir, de forma autônoma e soberana, o seu próprio destino.



## Em síntese



- A questão energética é central para o desenvolvimento, envolvendo poder econômico, soberania e distribuição de riqueza.
- O Brasil dispõe de enorme vantagem estratégica, com petróleo, hidroeletricidade e fontes renováveis abundantes.
- O principal desafio é quem se apropria do excedente econômico da energia.
- Propõe-se recuperar a renda petrolífera como instrumento de desenvolvimento nacional.
- Reforçar o papel da Petrobras como empresa integrada e estratégica.
- Utilizar o excedente do petróleo para financiar educação, infraestrutura e a transição energética.
- No setor elétrico, é necessário rever o modelo de precificação, que hoje encarece artificialmente a energia.
- Retomar o planejamento estatal e a regulação voltada ao interesse público, com foco na modicidade tarifária.
- Reorganizar a expansão do sistema elétrico, priorizando fontes renováveis e o uso estratégico dos reservatórios.
- Evitar distorções regulatórias e subsídios que elevam custos e favorecem interesses específicos.
- Integrar as diferentes fontes (hidro, eólica, solar) em um sistema coordenado e eficiente.
- Na transição energética o desafio não é apenas tecnológico, mas também garantir que os benefícios sejam socializados.
- Utilizar a renda dos recursos energéticos para reduzir custos, reindustrializar o País e ampliar o bem-estar.

AGÊNCIA PETROBRAS DE NOTÍCIAS



## Referências

MERCEDES, Sonia Seger Pereira et al. Uma revisão histórica do planejamento do setor elétrico brasileiro. Revista USP, São Paulo, n. 104, pp. 13-36, 2015.

SAUER, Ildo Luís (org.). A reconstrução do setor elétrico brasileiro. São Paulo: Paz e Terra, 2003.

SAUER, Ildo Luís. A gênese e a permanência da crise do setor elétrico no Brasil. Revista USP, São Paulo, n. 104, pp. 145-176, 2015.

SAUER, Ildo Luís. Uma análise da hegemonia do petróleo e os desafios da transição energética sob a perspectiva da economia política. Revista Princípios, n. 170, pp. 17-54, maio/ago. 2024.

SAUER, Ildo L.; RODRIGUES, Larissa A. Pré-sal e Petrobras além dos discursos e mitos: disputas, riscos e desafios. Estudos Avançados, v. 30, n. 88, pp. 201-232, 2016.



Salário Mínimo Profissional • Lei 4.950-A/1966

# Remuneração justa e reconhecimento aos profissionais do desenvolvimento



# O desafio da gestão dos recursos hídricos



ACERVO PESSOAL

Vicente Andreu  
Estatístico e ex-presidente  
da Agência Nacional  
de Águas (ANA)



**A** água é insubstituível: não há alternativa tecnológica capaz de suprir sua ausência em escala. Os recursos hídricos no mundo cada vez mais compõem os eixos estruturantes do desenvolvimento econômico, da estabilidade social e da própria governança global. A agenda internacional da água evoluiu de uma abordagem setorial para uma visão integrada. O conceito de gestão por bacia hidrográfica consolidou-se como paradigma técnico e institucional, ao reconhecer que o território da água não coincide com o território político-administrativo.

Essa mudança exigiu instrumentos de planejamento, regulação e participação social que permitissem conciliar usos múltiplos – abastecimento humano, irrigação, geração de energia, navegação, indústria e preservação ambiental – sob a lógica da sustentabilidade e da segurança hídrica.

Entretanto, uma série de desafios se apresentam. A distribuição espacial e temporal é profundamente desigual. Regiões com abundância hídrica convivem com infraestrutura precária, áreas de alta densidade populacional enfrentam escassez crescente, agravada por mudanças climáticas, degradação ambiental e modelos de uso pouco eficientes.

Agravando esse quadro, a humanidade vive um período que pode ser classificado como de transição. Paralelamente a profundas e inéditas transformações tecnológicas em curso, há retrocessos de consequências imprevisíveis em razão de uma agenda política global negacionista no campo científico, de abandono do multila-

teralismo, incluindo o desmonte da Organização das Nações Unidas (ONU) e seus organismos, notadamente aqueles relacionados aos recursos hídricos.

A cooperação direta entre países pode, em certa medida, suprir essa condição, porém apresenta limites evidentes diante de grandes bacias hidrográficas, como a Amazônica e a do Rio da Prata, na América do Sul, do Rio Colorado, nos Estados Unidos e México, e do Rio Danúbio, que abrange mais de 15 países. Há ainda aquelas com potencial de desencadear conflitos de grandes proporções, como as bacias do Rio Nilo (construção da Grande Barragem do Renascimento Etíope), do Rio Indo (entre Índia e Paquistão) ou do Rio Mekong (entre China, Laos, Camboja, Tailândia e Vietnã).

Nesse sentido, a crise hídrica contemporânea não é apenas física; é, sobretudo, de governança. Em muitos países, a ausência de marcos regulatórios claros, de sistemas de informação confiáveis e de mecanismos econômicos adequados compromete a ca-



pacidade de antecipação e resposta. Onde há instituições robustas, planejamento de longo prazo e integração entre políticas públicas, os conflitos pelo uso da água tendem a ser mitigados, e os investimentos tornam-se mais eficazes. Caso contrário, a escassez transforma-se em vulnerabilidades sociais, econômicas e ambientais.

## A universalização do acesso à água potável e ao saneamento básico, direitos humanos fundamentais, permanece como desafio moral e político do século XXI.

Outro desafio central é a adaptação às mudanças climáticas. Eventos extremos – secas prolongadas e cheias intensas – tornaram-se mais frequentes e severos, exigindo sistemas resilientes. Isso implica combinar infraestrutura física (reservatórios, sistemas de adução, proteção contra inundações) com infraestrutura verde (restauração de nascentes, recomposição de matas ciliares, conservação de solos), mas principalmente fazer a integração às políticas nas dimensões sociais e ambientais.

É preciso reafirmar que água não é apenas recurso econômico, mas direito humano fundamental. A universalização do acesso à água potável e ao saneamento básico

permanece como desafio moral e político do século XXI. A gestão eficiente, a regulação técnica qualificada e a transparência institucional não são fins em si mesmos; são meios para assegurar dignidade, saúde pública e desenvolvimento sustentável.

O tema, portanto, não admite improvisos. Exige visão estratégica, capacidade técnica e compromisso institucional, pois a segurança hídrica tornou-se sinônimo de segurança nacional e de estabilidade global.

## Panorama nacional

No Brasil, a abundância em algumas regiões e a escassez em outras são igualmente pressionadas pela conjuntura política. O cenário é agravado pelo fato de a agenda da água não ter sido tratada como prioridade no atual governo, ficando submetida às pressões de fortes setores usuários, como a energia, a irrigação e o próprio saneamento.

Tais interesses sobrepõem-se à lógica de cooperação e, principalmente, de articulação e coordenação do Estado. A transferência da Agência Nacional de Águas (ANA) para o Ministério do Desenvolvimento e Integração Regional, deixando a estrutura formal do Ministério do Meio Ambiente, talvez seja, simbolicamente, a maior evidência dessa conjuntura setorial. Trata-se de retrocesso, remontando ao período, já superado, em que a água era tratada como bem privado e objeto de conflitos violentos constantes.

Nesse sentido, a regulação, que dava passos consistentes a partir da Lei 9.433/1997,



foi tomada por interesses corporativos, como ocorreu na chamada crise hídrica de 2021, que teve efeitos sobre o setor elétrico brasileiro com a escassez de chuvas na Bacia do Rio Paraná. No entanto, a situação foi produto de um perverso mecanismo de operação dos reservatórios brasileiros em que o frequente esvaziamento durante o período de chuvas leva, inevitavelmente, a situações de criticidade que favorecem a explosão das tarifas. Ainda no caso de 2021, a falsa crise hídrica justificou a implementação esdrúxula de leilões de energia, com o preço chegando a incríveis R\$ 1.563,61 por megawatt-hora (MWh). A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), ativamente, e a ANA, passivamente, contribuíram de forma decisiva para que os registros gerais desse período atendessem diretamente aos interesses político-econômicos do setor de energia.

Observa-se ainda um movimento contínuo de enfraquecimento de planos de bacia, comitês e outros instrumentos de gestão, praticamente paralisados no tempo, para sustentar o discurso segundo o qual “o modelo não funciona”. O que se propõe como alternativa, contudo, são ideias já superadas historicamente pela sociedade brasileira, como mercado de águas, outorga onerosa ou – como está sendo engendrado pelo atual Governo de São Paulo na Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – a contratualização do acesso à água, o que representa negação do sistema público definido na Constituição de 1988.

No plano institucional, preocupa a sobrevivência do Projeto de Lei 4.546/2021, encaminhado ao Congresso nos estertores do governo anterior. Sob a égide de estabelecer uma política de infraestrutura hídrica, a proposta anula o sistema de águas público, privatizando o recurso hídrico não mais pela posse da terra, como na Lei de Águas de 1934, mas agora pelo controle das infraestruturas de distribuição.

## O saneamento no sistema de águas

A Lei 14.026/2020 promoveu mudanças institucionais, ao estabelecer a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ampliando formalmente a competência da instituição que passou a editar normas de referência para a regulação dos serviços de saneamento. Essa alteração deslocou o centro de gravidade regulatório do setor, atribuindo à ANA um papel de coordenação normativa em um ambiente historicamente fragmentado entre estados e municípios.

Há ainda divergências entre diversos atores quanto à mudança. Alguns enxergam o esvaziamento do sistema de águas como “consequência inevitável” da introdução formal desse novo papel, visto que social e economicamente o saneamento ocupa um lugar muito mais relevante do que o sistema de águas “puro”. Outros enxergam que o novo modelo representou um redesenho federativo sensível, pois fortaleceu a influência normativa da União em



um setor cuja titularidade é municipal. Outros, ainda, entendem que a centralidade da ANA em fixar normas de referência pode, de fato, viabilizar o propósito legal, ao enfrentar a heterogeneidade regulatória, marcada por agências locais com diferentes capacidades técnicas e padrões decisórios.

Mesmo que a expansão da função da ANA não signifique regulação direta dos serviços, o sincronismo regulatório de suas normas de referência com a agenda de privatizações demonstra que sua atuação, como infelizmente se verifica em outras, reduziu-se ao papel de “puxadinho” dos interesses das empresas em detrimento da supremacia do interesse público.

Em prova do afirmado acima, a Norma de Referência nº 5/24 da ANA, que define diretrizes para a matriz de riscos em contratos de saneamento básico (água e esgoto), atribui o risco climático exclusivamente ao poder concedente (poder público), ofertando às empresas toda sorte de operação para maximizar seus lucros, quando há alternativas concretas que podem reduzir consequências na ocorrência de situações de escassez. No caso do Sistema Cantareira, a Sabesp optou por suspender todo o expressivo bombeamento da Bacia do Paraíba do Sul para esse sistema, reduzindo custos e explorando ao máximo os reservatórios. Depois, no mês seguinte ao anúncio de lucros extraordinários, em sintonia com as agências reguladoras SP Águas e ANA, configurou situação de escassez hídrica na bacia. Esse foi um

aprendizado da operação dos reservatórios do setor elétrico, como já apontado acima. Ou seja, ao estatizar o risco climático, as agências reguladoras libertam os operadores privados de riscos que são inerentes ao negócio, eliminando qualquer estímulo para que aumentem a segurança hídrica ou energética, nesses exemplos.

A norma de referência da ANA nº 6, que estabelece os modelos de regulação tarifária dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, introduziu, sincronizadamente com a privatização da Sabesp, o “modelo de regulação contratual”, no qual as principais regras e procedimentos de remuneração, formação

DIVULGAÇÃO/SABESP



Obras de ampliação da rede de esgoto em bairros do município de Presidente Epitácio (SP).



da tarifa, metas de cobertura, expansão, desempenho e qualidade na prestação dos serviços são definidas no contrato fixado entre as partes. Com isso, exatamente ao mesmo tempo, transforma a ANA e agências de saneamento regionais de reguladores do serviço – nas quais o interesse público é preponderante – em fiscais de contrato. Ainda, se as normas de referência buscavam enfrentar a heterogeneidade existente no País, a introdução da regulação contratual é exatamente o seu oposto, privilegiando a pulverização conforme os interesses privados.

Compõe também esse quadro de desregulamentação o fato de que decorridos praticamente seis anos da edição da Lei 14.026/2020, a ANA não tenha estabelecido as condições e penalidades em caso de não adesão de agências regionais às normas de referência. Ainda, alterou-se a Lei 11.445/2007, introduzindo a reservação de água bruta como uma das atividades do saneamento, mas foi mantido que “os recursos hídricos não integram os serviços públicos de saneamento”.

Esses elementos de realidade sustentam minha afirmação de que o processo regulatório originalmente concebido com a ideia central que o Estado deixasse de ser prestador direto de serviços públicos e passasse a atuar como regulador e fiscalizador, através de organismo técnico, estável e relativamente autônomo, está sendo totalmente descaracterizado para viabilizar uma regulação de fachada.

## A reservação da água

Em um cenário de intensificação das mudanças climáticas, marcado pela alteração do ciclo hidrológico global, com extremos cada vez mais frequentes, como secas prolongadas de um lado e chuvas intensas concentradas de outro, a construção de novos reservatórios de usos múltiplos torna-se uma estratégia essencial de adaptação.

Esses empreendimentos permitem regularizar vazões ao longo do ano, armazenando água nos períodos úmidos para garantir abastecimento humano, irrigação, geração de energia e manutenção de vazões ecológicas nos períodos críticos. A experiência recente de crises hídricas em regiões como o Sudeste brasileiro demonstra que sistemas excessivamente dependentes da variabilidade natural ficam vulneráveis quando os regimes hidrológicos se alteram.

No entanto, a expansão da infraestrutura de armazenamento hídrico deve estar acompanhada de contínuo aprimoramento dos procedimentos técnicos e regulatórios, especialmente no caso dos reservatórios de pequeno e médio porte, que muitas vezes não dispõem do mesmo rigor de projeto, monitoramento e fiscalização aplicado aos grandes barramentos. A segurança estrutural, a gestão de riscos e a manutenção preventiva precisam ser tratadas como requisitos permanentes, e não como etapas pontuais do licenciamento. Ao mesmo tempo, é indispensável incorporar de forma sistemática as dimensões social e



ambiental, assegurando participação das comunidades afetadas, mitigação adequada de impactos, proteção de ecossistemas e compatibilização com os instrumentos de planejamento de bacia. Em um contexto de mudanças climáticas, a legitimidade e a sustentabilidade dos reservatórios dependerão cada vez mais dessa integração entre excelência técnica, responsabilidade socioambiental e governança transparente.

É igualmente essencial compatibilizar os benefícios de caráter geral – como segurança hídrica, estabilidade energética e suporte à produção agrícola – com os impactos que se manifestam de forma localizada, sobretudo sobre comunidades diretamente afetadas e ecossistemas específicos, inclusive aqueles de natureza cultural ou religiosa. Não é justo transferir riscos permanentes para populações à jusante de barramentos sem uma análise criteriosa de seus impactos e de alternativas locais e tecnológicas.

Por fim, a excelência da engenharia brasileira – reconhecida historicamente pela capacidade de conceber e executar grandes obras hidráulicas – deve estar sensível e aberta às novas realidades impostas pelas mudanças climáticas, pela maior complexidade social e pelas exigências ambientais contemporâneas. Mais do que domínio técnico, exige-se hoje capacidade de dialogar com o território, incorporar inovação, aprimorar padrões de segurança e integrar sustentabilidade como eixo estruturante de projetos.

## Em síntese



- A crise hídrica contemporânea não é apenas de escassez, mas, sobretudo, de governança.
- A gestão por bacia hidrográfica segue sendo o caminho, mas exige coordenação, informação e instituições fortes.
- Fortalecer marcos regulatórios, sistemas de monitoramento e mecanismos de planejamento de longo prazo.
- Integrar políticas públicas para água, energia, saneamento, agricultura e meio ambiente, hoje ainda fragmentadas.
- Ampliar a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, com sistemas mais resilientes.
- Combinar infraestrutura física (reservatórios, adução) com soluções baseadas na natureza.
- Retomar e fortalecer comitês de bacia e instrumentos de gestão participativa.
- Evitar retrocessos institucionais e a privatização indireta da água via infraestrutura.
- Reequilibrar o papel regulador da ANA, garantindo centralidade ao interesse público.
- Universalizar o acesso à água e ao saneamento como direito fundamental.
- Planejar a expansão de reservatórios com segurança, responsabilidade socioambiental e transparência.
- A segurança hídrica deve ser tratada como questão estratégica de Estado.

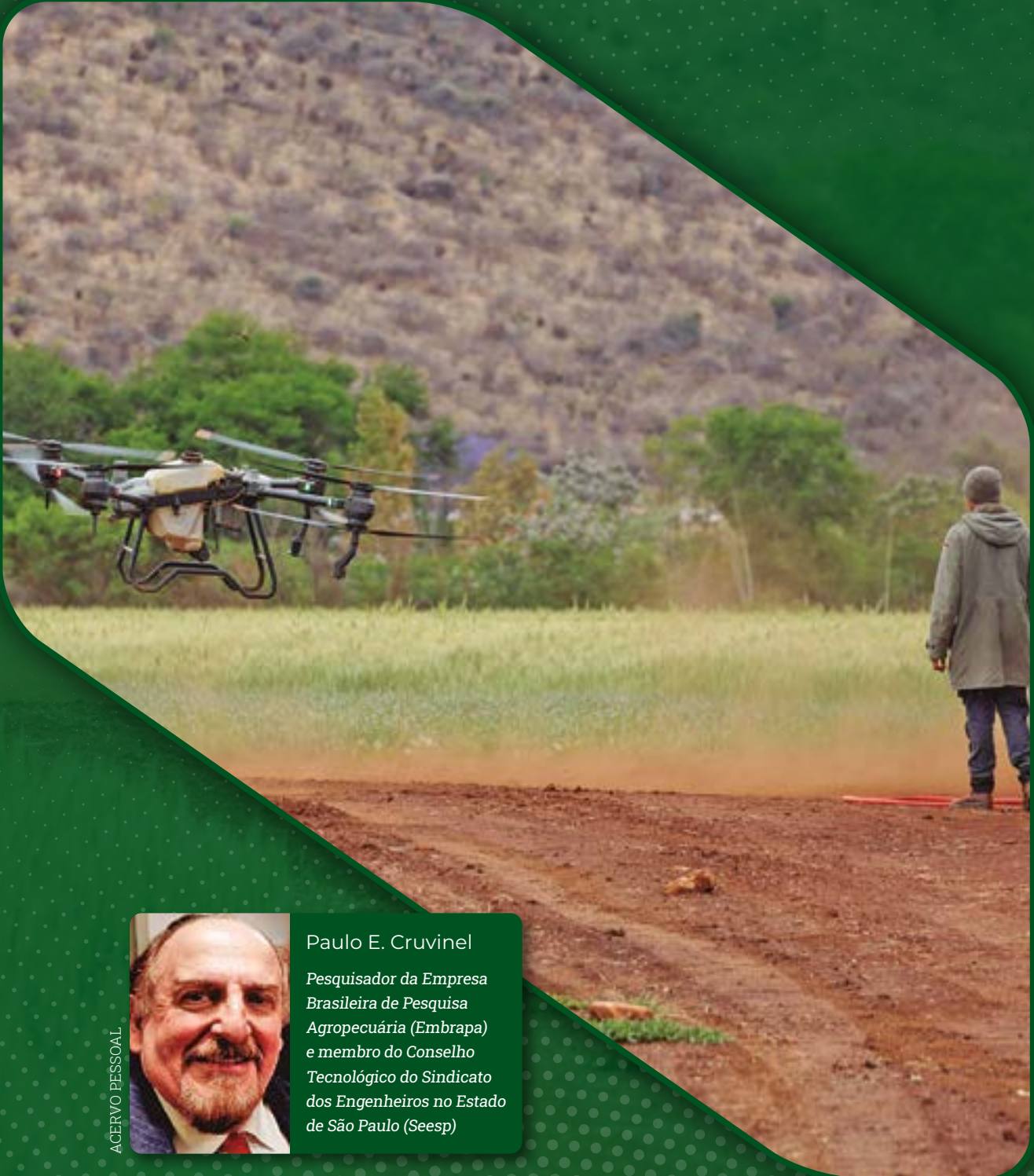


**CARREIRA PÚBLICA DE ESTADO  
PARA ENGENHEIROS**

**Valorização profissional,  
desenvolvimento e  
atendimento à população**



# Engenharia e inovação para a agricultura sustentável e a segurança alimentar



ACERVO PESSOAL

Paulo E. Cruvinel

*Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e membro do Conselho Tecnológico do Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo (Seesp)*



**A** nova sociedade do século XXI, incluindo os ambientes urbano e rural, vivencia a transformação da Indústria 4.0 para a 5.0. A primeira trouxe como principal paradigma a integração entre sistemas físicos e digitais, dependendo não apenas da maior adoção de sistemas computacionais e da Internet das Coisas (IoT), mas, sobretudo, da capacidade de aliar tecnologia a uma cultura de inovação.

A segunda é a evolução da 4.0, focada na colaboração entre humanos e máquinas inteligentes (*cobots*), para humanizar a produção, centrada em sustentabilidade, resiliência e personalização. Enquanto a 4.0 focou em automação, a 5.0 prioriza a criatividade humana, valorizando o trabalhador, a personalização de produtos e a responsabilidade socioambiental.

Nesse cenário, surgem necessidades para o desenvolvimento sustentável dos biomas, associado à evolução digital e aos novos mecanismos de manejo agrícola, como a agricultura automatizada e inteligente, o plantio direto e a agricultura de precisão. A geocomputação, o *design* de alimentos e a conexão rural-urbana desempenham um papel importante, não apenas para encontrar oportunidades tecnológicas que tragam maior produtividade, mas também para possibilitar a segurança alimentar, respeitando a resiliência dos recursos naturais, ou seja, de forma sustentável.

De fato, a importância dos humanos nos processos alimentares reside na capacidade de transformar nutrição em experiência, cultura e conexão emocional, algo

que traz maior sentido à aplicação da automação e da inteligência artificial, as quais não replicam, de forma autônoma, a mesma profundidade e compromisso.

Enquanto a tecnologia garante eficiência e segurança, a criatividade humana atua como o principal diferencial cognitivo, permitindo inovação, personalização e a valorização de ingredientes essenciais para a saúde humana, além de melhor atender ao mercado de alimentos, que, devido à nova geopolítica mundial, vem se mostrando cada vez mais competitivo.

A alimentação vai além da nutrição; ela envolve memórias e identidades sociais, muitas vezes passadas de geração a geração. A intervenção humana é vital na seleção minuciosa, no manuseio delicado e na garantia da assinatura das dietas alimentares, onde a criatividade permite que receitas alimentares clássicas combinem novos sabores e criem novas técnicas, incluindo dietas que valorizem produtos agrícolas regionais.

O uso de inteligência artificial (IA) e a automação, embora capazes de prever tendências e otimizar a produção, devem



atuar em conjunto com a sensibilidade humana. A criatividade humana no setor alimentar foca em dar significado e experiência, enquanto a tecnologia oferece suporte para a eficiência e escala.

O último relatório das Nações Unidas sobre perspectivas da população mundial, publicado em 2024, projeta que um pico de cerca de 10,3 bilhões de pessoas será atingido em meados da década de 2080, antes de cair para 10,2 bilhões até o final do século. Com o acréscimo de cerca de 83 milhões de indivíduos a cada ano, espera-se que a tendência ascendente continue, mesmo assumindo, com base em indicadores, que os níveis de fertilidade continuarão a declinar. Nesse contexto, há certamente necessidade de se trazer de forma organizada mais tecnologia e educação para as áreas rurais, que se constituem como chave para se garantir o desenvolvimento sustentável e a paz mundial, sem perda da diversidade.

Além disso, para o atendimento agroalimentar e a garantia da qualidade de vida nos níveis local, regional, nacional e global, deve-se levar em conta a minimização de externalidades negativas. Isso envolve, predominantemente, a gestão de riscos e uma abordagem sistêmica fundamentada nas boas práticas e no uso sustentável de recursos naturais renováveis.

Nesse contexto, passam a ser tratadas como prioridade, orientando projetos estruturantes e políticas públicas, a gestão da variabilidade, a proteção de nutrientes e cultivos, com foco em processos decisórios

baseados na qualidade de vida, a gestão da água, o uso e disponibilidade de dados geoespaciais, a rastreabilidade e a qualidade dos alimentos, bem como a orientação baseada nos paradigmas da bioeconomia voltada ao consumidor, incluindo a logística segura.

O estabelecimento dessa ponte entre o meio rural e o ambiente urbano deve estar na agenda dos países que prezam pelo desenvolvimento, inclusão, sustentabilidade e inovação, assim como pela nutrição e saúde dos indivíduos que compõem e comporão a sociedade deste século.

## Prioridade à C,T&I

Inserido nesse contexto e de acordo com o mais recente Relatório de Desenvolvimento Humano (RDH) 2023/2024, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud) em maio de 2025, o Brasil apresentou melhora em seus índices, subindo cinco posições no *ranking* global, passando da 89ª para a 84ª colocação entre 193 nações avaliadas. Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o país atingiu a marca de 0,786, consolidando-se no grupo de países com alto desenvolvimento humano. Esse avanço foi impulsionado principalmente pelo aumento da renda nacional bruta *per capita*, favorecido pela formalização do mercado de trabalho e pela recuperação do indicador de saúde após o impacto da pandemia de Covid-19.

De fato, o Brasil superou o patamar de desenvolvimento humano anterior à pandemia, indicando uma retomada da traje-



tória de crescimento. Entretanto, embora tenha havido melhora geral, o indicador de educação apresentou uma evolução mais tímida em comparação à saúde e à renda. Além disso, continua apresentando altos níveis de desigualdade social, o que impacta o índice geral e necessita de melhorias para retornar aos patamares de IDH mais elevados observados em períodos anteriores. Logo, o Brasil deve buscar retomar o desenvolvimento, no momento e com visão de futuro, mesmo frente ao cenário mundial complexo de guerras e geopolítica.

## Uma significativa parte das soluções para que o Brasil atinja níveis desejáveis de desenvolvimento reside em seu potencial agrícola, pecuário e florestal.

Uma significativa parte das soluções para atender a essa realidade é o seu potencial para o desenvolvimento agrícola, pecuário e florestal. Isso se justifica porque, em regiões do País onde há desenvolvimento agropecuário ou florestal orientado, e não extrativista, o IDH é maior. Esse setor exerce papel essencial no crescimento econômico e na sua ampliação, pois os efeitos de transbordamento não se limitam ao próprio mercado de produção de alimentos, mas envolvem outros agentes e processos,

desde a obtenção dos insumos até a disposição final do produto e sua acessibilidade pelos consumidores, conforme preconiza o conceito de cadeia de valor.

Pode-se, assim, mencionar que atividades rurais no Brasil, sejam elas de origem agrícola, pecuária, florestal ou associada, têm se relacionado com as várias perspectivas (econômica, social, ambiental e capital humano) do desenvolvimento sustentável, devendo ser incentivadas e priorizadas para que se alcance o desenvolvimento ora desejado. Soma-se a isso o fato de ser o setor que mais contribuiu favoravelmente com a situação econômica e social do País nos últimos anos, mas que enfrenta importantes desafios sobre a dicotomia entre os aumentos da produção, o fator internacionalização e as pressões ambientais, apesar de estar havendo redução do desmatamento.

O Brasil tornou-se, há pouco, o principal exportador mundial de suco de laranja, carne de frango, açúcar, café, tabaco, carne bovina e etanol. Apesar de quedas observadas nos últimos cinco anos, essa dianteira pode voltar a se acentuar. Mas os bons resultados estarão cada vez mais atrelados a avanços no comércio exterior, acréscimos nos protocolos já em curso para a sustentabilidade, melhor estruturação da educação formal, redução da pobreza e, não menos importante, priorização de recursos para a ciência, tecnologia e inovação (C,T&I) voltada para o setor.

Inserido nesse contexto, verifica-se a necessidade da revitalização ou mesmo rees-





AGÊNCIA SP

*Investimento em ciência, tecnologia e inovação no setor agropecuário gera retorno à sociedade.*

78

truturação de um novo Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), no qual se envolvam a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (Oepas), universidades públicas e instituições privadas que atuam junto ao setor produtivo. Parcerias nas modalidades público-público e público-privada se colocam como uma opção plausível e merecedora de atenção quando se busca estabelecer uma estratégia vencedora. Entretanto, é necessário estabelecer de forma definitiva segurança jurídica para que os processos possam ser desenvolvidos em escala.

Foi graças aos esforços de uso de inteligência, conhecimento e tecnologia que se tornou possível o uso do Cerrado. Assim, manter o processo de desmonte da C,T&I no

País passou a ser um risco em grande escala, com impactos que poderão favorecer a total perda de competitividade e a volta à dependência alimentar dos anos 1970.

## Reforma agrária e biotecnologia

Outro aspecto que merece atenção diz respeito aos mecanismos de ocupação de terras no Brasil. Houve uma substancial expansão da área destinada aos assentamentos rurais de reforma agrária. O programa de reforma agrária no Brasil passa por um momento de retomada e reestruturação, focado na aceleração da destinação de terras por meio do programa “Terra da Gente”, lançado em 2024. O objetivo atual, com foco especial na produção de alimentos, regularização fundiária e sustentabilidade, é beneficiar cerca de 295 mil famílias até 2026, divididas entre novos assentamentos e a regularização de lotes existentes. Entretanto, o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) pressiona pelo assentamento de dezenas de milhares de famílias acampadas. Além disso, persiste o desafio de fornecer infraestrutura, assistência técnica e crédito para que as famílias se mantenham no campo, pois muitos assentamentos carecem de apoio produtivo.

Outro desafio importante trata da necessidade de ampliação das áreas de assentamentos, visto que mais de 85 milhões de hectares foram incorporados à reforma agrária no Brasil ao longo das últimas dé-



casas. O País possui mais de 9 mil assentamentos rurais atendidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra), e o total de famílias assentadas supera 1 milhão, com intensas ações de regularização e entrega de títulos nos últimos anos. De fato, o prosseguimento da reforma agrária, principalmente se associado a políticas de incentivo inovadoras, poderá permitir que, além de produtores significativos, os pequenos agricultores desempenhem diversos papéis sociais e ambientais. Nesse sentido, propõe-se que a Agência Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (Anater) também integre os esforços oriundos da rede de C,T&I a ser estabelecida, fortalecendo a conexão rural-urbana.

Outra importante abordagem a ser observada é a sistematização de programas avançados de biotecnologia na agropecuária. Relatórios recentes de indicadores de biotecnologia da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) destacam a convergência da biologia sintética com IA e automação para acelerar o desenvolvimento de sementes e insumos biológicos na agricultura. O foco concentra-se na transição para uma bioeconomia sustentável, impulsionando investimentos em culturas tolerantes a estresses climáticos (hídrico, térmico e biótico) e no uso de biofertilizantes para reduzir a pegada de carbono.

Os Estados Unidos lideram o setor com cerca de 11.500 empresas de biotecnologia, seguidos pela Espanha, com aproximada-

mente 2.900, e pela França, com 2 mil. Coreia, Alemanha, Reino Unido, Japão, México, Nova Zelândia e Bélgica ocupam as dez primeiras posições. O Brasil, por sua vez, aparece na 18ª posição, com apenas 150 empresas. O Brasil carece de uma política clara que viabilize uma atuação mais consistente nesse importante segmento orientado ao processo produtivo, principalmente na agropecuária.

Embora a atual Lei de Biossegurança (nº 11.105/2005) tenha garantido o direito do consumidor a decidir sobre a ingestão de alimentos geneticamente modificados, ao exigir a rotulagem, ainda falta escala para o crescimento autônomo e consciente do setor no País.

## Um projeto para construção do novo

A partir das premissas mencionadas, visando um Brasil competitivo, que priorize a qualidade de vida para seu povo e seja o principal colaborador mundial para a segurança alimentar no planeta, as seguintes propostas podem ser colocadas na linha de projetos estruturantes.

### Segurança alimentar

- 1) *Estabelecer planejamento estratégico para o Brasil*, considerando seus diferentes biomas (Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga, Pantanal, Pampa) e suas especificidades, preparando um Termo de Referência (TR) que



envolva as instituições do País e parceiras (arranjo público-público e público-privado), visando a competitividade e a sustentabilidade do desenvolvimento agrícola, pecuário e florestal com foco em segurança alimentar e do alimento (uma plataforma que venha a viabilizar um salto quantitativo e qualitativo para maior inserção no cenário internacional, estruturado sobre a melhoria contínua dos processos – concepção, formulação e gestão de um programa), com ferramentas de cenarização, simulação e apoio à negociação/pactuação.

- 2) *Estabelecer e apoiar um programa robusto em sanidade vegetal e sanidade animal*, incluindo conceitos do uso racional de insumos para o pequeno, médio e grande produtor.
- 3) *Intensificação sustentável da produção, como o uso de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e o Plano ABC* (agricultura de baixa emissão de carbono) para alcançar o desmatamento zero.
- 4) *Organizar informações sobre as bases e as fontes de recursos para financiamento das ações de C,T&I*, bem como para a implantação de infraestrutura para o setor.
- 5) *Organizar informações sobre a gestão territorial*, tomando por base a geomática e as ciências cognitivas.
- 6) *Organizar junto ao Poder Legislativo audiências públicas*, visando subsidiar políticas públicas, aproveitando os esforços da Frente Parlamentar da Agropecuária.

- 7) *Encaminhar resultados para órgãos de fomento* com a finalidade de motivar chamadas de projetos via editais ou encomendas (projetos estruturantes multi-institucionais – parceria público-privada).
- 8) *Estabelecer amplo canal de divulgação dos resultados junto à sociedade.*

## Segurança das águas (recursos hídricos continentais)

### Desafios

- 1) *Dificuldades de acesso aos recursos hídricos*: quantidade, qualidade e restrições administrativas e operacionais.
- 2) *Morosidade dos procedimentos de licenciamento ambiental* e obtenção de outorga de uso dos recursos hídricos.
- 3) *Vulnerabilidade dos agricultores às alterações e mudanças climáticas.*
- 4) *Dificuldade de acesso ao crédito e seguro agrícola* pelos agricultores familiares e de menor porte que não possuem garantias ou já perderam seus direitos de acesso ao crédito.
- 5) *Situações de conflito pelo uso da água.*

### Ações de pesquisa e inovação

- 1) *Racionalização do uso dos recursos naturais em cadeias produtivas florestais com ênfase nas demandas de água*

A área atual de cultivos florestais no Brasil é de cerca de 10 milhões de hectares. Deste total, há expectativas de expansão da oferta florestal de



aproximadamente 600 mil hectares ao ano de áreas de plantio, frente ao amplo potencial de uso como biomassa energética. A sustentabilidade dessa expansão vem associada a um planejamento detalhado, construído estrategicamente, de forma a subsidiar decisões de ordem política, econômica, social e especialmente ambiental. O diagnóstico do impacto do uso da água e o desenvolvimento e/ou aperfeiçoamento de protocolos tecnológicos que permitam a redução e ou otimização desses usos nos setores de produção e processamento de florestas em diferentes regiões do Brasil são indispensáveis para recomendações de expansão de diferentes espécies para a produção de energia. Também é necessário mapear as áreas mais frágeis, aprimorar os protocolos de outorga e identificar riscos ambientais e comerciais ligados ao uso indiscriminado dos recursos hídricos. Ao mesmo tempo, é importante reconhecer oportunidades de valorização associadas à produção em cadeias florestais para energia, baseada no uso racional e consciente da água.

#### **Objetivos:**

- Diagnosticar o impacto da expansão de cultivos de florestas para geração de energia, em diferentes regiões do Brasil.
- Diagnosticar o impacto da expansão do uso de água industrial para o processamento de biomassa de florestas para

geração de energia, em diferentes regiões do Brasil.

- Mapear áreas frágeis sob o ponto de vista hidrológico (recarga de aquíferos, áreas inaptas de cultivo, APPs, capacidade de suporte etc.).
- Desenvolver e/ou aprimorar protocolos tecnológicos que permitam aperfeiçoar o uso industrial de água.

**É necessário mapear as áreas mais frágeis, aprimorar os protocolos de outorga e identificar riscos ligados ao uso indiscriminado dos recursos hídricos.**

- Identificar ameaças ambientais e de comercialização associadas ao uso indiscriminado dos recursos hídricos.
- Identificar oportunidades de valorização associadas à produção com uso racional ou consciente dos recursos hídricos.

2) *Impactos social, econômico e ambiental: estudos de cenário da matriz bioenergética no contexto mundial, considerando aspectos relacionados com alterações climáticas e de segurança alimentar*

Diante das crescentes pressões internacionais, impulsionadas pelo aumento dos preços dos alimentos e dos combustíveis fósseis e pela expansão



da demanda global, especialmente nos países em desenvolvimento, e considerando a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa por meio da diversificação da matriz energética, o Brasil assumiu posição de destaque na oferta dessas *commodities*.

Isso se deve tanto às suas dimensões continentais e ao elevado potencial produtivo quanto ao domínio de tecnologias em fontes alternativas de energia. Nesse contexto, cabe ao País demonstrar a sustentabilidade de seu modelo de produção diversificado, avaliando os impactos socioeconômicos e ambientais de suas práticas em diferentes cenários – macroeconômicos, comerciais, sociais e ambientais.

#### **Objetivos:**

- Elaboração de cenários nacionais e internacionais, com vistas a avaliar a sustentabilidade da matriz agroenergética.
- Ênfase social: empregos diretos e indiretos, renda, fluxos migratórios.
- Ênfase econômica: rentabilidade, geração de impostos, distribuição da remuneração entre os agentes, renúncia e evasão fiscal, fluxos de comércio, barreiras comerciais, valor agregado, efeito de substituição (matriz fóssil) e outros.
- Ênfase ambiental: biodiversidade e sequestro de CO<sub>2</sub>, emissão de gases de efeito estufa, degradação dos recursos hídricos e solo, uso de defensivos, desmatamento, uso de áreas degradadas.

#### 3) *Impactos ambientais e socioeconômicos resultantes da utilização de resíduos*

Nos processos agroindustriais e nas atividades humanas, são gerados diversos resíduos, que representam riscos relevantes de poluição ambiental. O desenvolvimento de tecnologias para sua transformação pode reduzir esses impactos. No entanto, esse processo também pode gerar efeitos ambientais, que devem ser minimizados com o uso de soluções adequadas.

Assim, a destinação correta desses resíduos contribui para mitigar as emissões de gases de efeito estufa, além de gerar benefícios econômicos e melhorar a qualidade de vida.

#### **Objetivos:**

- Avaliar as emissões de gases de efeito estufa pelo uso de resíduos da agroenergia, possibilitando a agregação de valor por meio de projetos de mecanismos de desenvolvimento limpo e mercado de carbono.
- Avaliar o impacto do uso de resíduos no balanço energético da agroenergia.
- Avaliar o impacto do uso de resíduos da agroenergia na qualidade de vida das populações.
- Avaliar o impacto do uso de resíduos sobre a qualidade das águas.

#### 4) *Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com identificação da logística e infraestrutura aplicada à aquicultura*

Esse gargalo é parte do pressuposto de que há variadas bases de dados com



acervos de indicadores científicos e econômicos, mapas de competência, imagens de satélites, entre outras informações úteis aos *stakeholders* do setor da aquicultura. No entanto, esses instrumentos não se encontram integrados em torno de um sistema inteligente de pesquisa transversal, capaz de oferecer acesso seletivo e dinâmico de acordo com a necessidade de seus usuários.

Assim, fazem-se necessárias a sistematização e a disponibilização de um banco de dados como base para o planejamento do setor aquícola, considerando os seguintes aspectos: clima, meio ambiente, aspectos econômicos e sociais. Esse SIG interligaria diversos instrumentos de pesquisa, facilitando a cooperação das instituições gestoras das informações disponibilizadas, como universidades e instituições de pesquisa, órgãos de governo, agências de financiamen-

to, representações do setor produtivo, organizações não governamentais.

**Objetivos:**

- Rastrear e recuperar informações em bases de dados integradas.
- Operar mecanismos de busca com acesso seletivo e em tempo real.
- Hierarquizar informações e filtrar conteúdos por múltiplos critérios.
- Classificar as informações recuperadas a partir de atribuições taxonômicas.
- Gerenciar permissionamento de acesso e identificação dos usuários.
- Importar e exportar dados selecionados em formatos de compatibilidade.
- Permitir a colaboração entre usuários em ambiente privado.

5) *Desenvolvimento de modelos de gestão de parques aquícolas*

Um dos maiores desafios da aquicultura brasileira reside no aproveitamento

MPA



Tanques-rede para criação de tilápia nas margens do Rio Paranapanema, no Lago da Hidrelétrica de Capivara, no Paraná.



de milhões de hectares de espelho d'água em grandes reservatórios e em ambientes estuarinos e marinhos propícios à criação de peixes, crustáceos, moluscos e algas.

A demarcação de parques aquícolas que vem sendo realizada representa importante passo para a exploração ordenada dessas áreas. Contudo, o uso múltiplo desses recursos, a interação de seus diversos usuários e a necessidade de coordenação dos levantamentos, análises e decisões relacionadas ao monitoramento da qualidade da água implicam a necessidade de ordenamento por intermédio de uma entidade gestora que contemple os interesses de todos os atores da cadeia produtiva.

#### **Objetivos:**

- Promover o uso ordenado de grandes reservatórios e de ambientes estuarinos e marinhos pela aquicultura.
- Minimizar os conflitos entre os diversos usuários.
- Coordenar os trabalhos de controle e monitoramento da qualidade da água, acompanhando possíveis impactos causados por empreendimentos aquícolas nesses ambientes.
- Controlar o nível de ocupação dos parques aquícolas, sinalizando situações que comprometam novas cessões de áreas devido à deterioração da qualidade da água.
- Conscientizar os usuários dos parques aquícolas sobre a importância do estabelecimento de boas práticas de manejo

com vistas à manutenção da qualidade da água em condições satisfatórias e da necessidade da boa interação com os demais usuários dos recursos hídricos.

#### 6) *Modelos de capacidade de suporte regionais aplicados à aquicultura*

A aquicultura, quando não sustentável, pode alterar os ecossistemas aquáticos e comprometer seus múltiplos usos. Para evitar isso, é fundamental estimar a capacidade de suporte dos corpos hídricos, ou seja, o nível máximo de produção que podem sustentar sem prejuízo às suas características bióticas e abióticas.

Essa avaliação deve considerar tanto a produtividade do ecossistema quanto sua capacidade de absorver os impactos da atividade. Embora existam modelos para prever esses efeitos, eles geralmente oferecem estimativas genéricas e não captam adequadamente as variações sazonais e espaciais.

Por isso, é essencial desenvolver tecnologias regionais que permitam avaliar com maior precisão a capacidade de suporte e garantir a qualidade ecológica necessária à sustentabilidade da aquicultura.

#### **Objetivos:**

- Determinar critérios técnicos de capacidade de suporte integrados às condições ambientais que influenciam diretamente a dinâmica dos ecossistemas aquáticos nas diferentes regiões hidrográficas brasileiras.



- Testar e validar modelos de capacidade de suporte que atendam aos distintos aspectos funcionais de ecossistemas aquáticos artificiais e naturais, tais como represas, açudes, lagos, igarapés, ambientes costeiros e marinhos.
- Gerar, adaptar e difundir o conhecimento científico e tecnológico visando a implementação dos empreendimentos aquícolas de forma viável e segura (sustentável).

#### 7) *Desenvolvimento e aplicação de tecnologias para minimizar a eutrofização e a poluição*

A aquicultura tem se expandido nas últimas décadas em resposta à crescente demanda mundial por pescados. Nesse contexto, os sistemas de produção evoluíram do modelo extensivo para semi-intensivo e intensivo, com aumento do uso de água e de insumos.

Por outro lado, a falta de saneamento compromete a qualidade dos recursos hídricos com potencial para uso na atividade. Assim, torna-se necessário aprimorar o controle da água utilizada, bem como dos resíduos e efluentes gerados.

Nesse sentido, são fundamentais boas práticas de manejo, associadas ao uso de biorremediadores (como o cultivo consorciado com macroalgas, macrófitas e organismos filtradores), além do reúso da água e do controle dos agentes que promovem a fertilização dos ecossistemas. Essas medidas contribuem para o uso mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos.

#### **Objetivos:**

- Desenvolver tecnologias para minimização da eutrofização.
- Promover boas práticas de manejo.
- Controlar e identificar os agentes fertilizadores dos ecossistemas.
- Promover o uso adequado de insumos em função das características hidrobiológicas do ecossistema.

**A aquicultura, quando não sustentável, pode alterar os ecossistemas e comprometer seus múltiplos usos, daí a necessidade de estimar a capacidade de produção.**

- Ampliar estudos voltados ao uso de biorremediadores em ambientes confinados.
- Realizar estudos sobre os processos de recirculação e reúso da água.
- Formação de recursos humanos qualificados para um monitoramento ambiental de qualidade.

#### 8) *Gestão e segurança dos recursos hídricos com foco na agroindústria e aquicultura*

A Região Norte detém o maior potencial hídrico do Brasil, abrigando 68% da água doce disponível. Nesse contexto, ações de proteção, monitoramento e avaliação da qualidade da água são fundamentais para garantir o uso sus-



tentável e a segurança para abastecimento humano, navegação e produção de alimentos. No âmbito da agricultura, o uso de tecnologias que minimizem os desperdícios e reduzam os impactos oriundos de fertilizantes é de suma importância para sua preservação.

A aquicultura, como uma das vertentes da agroindústria, vem se desenvolvendo fortemente nas últimas décadas em virtude da crescente demanda do mercado mundial. Por outro lado, a falta de saneamento tem sido um entrave para a manutenção da qualidade dos recursos hídricos com potencial para uso aquícola.

A minimização dos impactos oriundos das atividades industriais e domésticas se reveste de elevada importância para o sucesso da aquicultura desenvolvida dentro dos padrões de qualidade e sanidade dos animais cultivados. Assim, faz-se necessário um monitoramento contínuo da água a ser utilizada, bem como dos resíduos e efluentes que podem impactá-la.

#### **Objetivos:**

- Intensificar o controle e monitoramento da qualidade da água, acompanhando possíveis impactos causados por atividades produtivas e efluentes domésticos.
- Padronizar a metodologia analítica e de coletas aplicada nos monitoramentos ambientais.
- Desenvolver tecnologias de avaliação de ecossistemas através de bioindicadores e índices ambientais.

- Controlar e identificar os agentes fertilizadores dos ecossistemas.
- Gerar, adaptar e difundir o conhecimento científico e tecnológico visando a implementação de empreendimentos agrícolas e aquícolas de forma viável e segura (sustentável).
- Testar e validar modelos de capacidade de suporte que atendam aos distintos aspectos funcionais de ecossistemas aquáticos artificiais e naturais, tais como represas, açudes, lagos, igarapés, ambientes costeiros e marinhos.
- Promover o uso ordenado de grandes reservatórios e de ambientes estuarinos e marinhos pela aquicultura.
- Desenvolver sensores e biossensores utilizando as nanotecnologias para o monitoramento de corpos hídricos.

#### 9) *Preservação e valorização dos recursos hídricos utilizados para manejo de sistemas agrossilvipastoris*

A água constitui um fator estratégico para o desenvolvimento sustentável das áreas rurais, as quais são fundamentais para o abastecimento das populações urbanas. Se essa perspectiva já é reconhecida nas esferas nacional e internacionais, ela ainda não foi integrada concretamente nas agendas das políticas locais, e menos ainda nos sistemas de produção agrícola. Os recursos hídricos ainda são alvo de descaso e de práticas agressivas e



insustentáveis, gerando prejuízos para os agricultores e a sociedade em geral.

**Objetivos:**

- Caracterizar o balanço hídrico de cada sistema de produção.
- Avaliar o potencial ecofisiológico de espécies arbóreas e associações para recuperação de matas ciliares em sistemas de produção integrados.
- Quantificar e valorar o serviço ambiental prestado pelos produtores de água.
- Promover nas áreas rurais as boas práticas de uso e gestão da água e melhorar as ferramentas de monitoramento.

10) *Biocombustíveis e indústria*

O Brasil ocupa posição de destaque mundial na produção de biocombustíveis, contando com uma das matrizes energéticas de transporte mais limpas do planeta. Esse diferencial resulta da capacidade de integrar produção agrícola – como cana-de-açúcar, soja e milho – com processamento industrial e tecnologia avançada.

Nesse contexto, é fundamental considerar a criação de um programa estruturante que articule os setores agropecuário e industrial. A produção de biocombustíveis integrada à indústria pode impulsionar a descarbonização da economia, além de gerar emprego e renda, em linha com os princípios do RenovaBio (Política Nacional de Biocombustíveis).

PREFEITURA DE PARANAGUÁ



*Fiscalização conjunta em outubro de 2025 investiga crime ambiental em Estação de Tratamento em Paranaguá (PR).*

Esse programa deve fortalecer a conexão entre o campo e a indústria automobilística, com potencial de expansão para outros segmentos ligados ao transporte e à logística. Para isso, é prioritário estabelecer uma política pública que oriente essa estruturação no País.

No cenário internacional, a demanda por petróleo deve alcançar cerca de 105 milhões de barris por dia até 2029, impulsionada principalmente pelas regiões da Ásia-Pacífico e da África, com perspectiva de retração a partir de 2030. No Brasil, o consumo de combustíveis



líquidos segue em crescimento, especialmente no uso de gasolina.

Atualmente, a indústria brasileira de biocombustíveis está concentrada na produção de etanol (a partir da cana-de-açúcar e do milho) e de biodiesel (derivado de óleos vegetais e gorduras animais), com volume superior a 43 bilhões de litros em 2023. Esse cenário revela uma oportunidade significativa de expansão sustentável, com potencial de gerar retornos econômicos relevantes para o País.

## O cenário revela oportunidade de expansão sustentável da produção da indústria de biocombustíveis, com potencial de retornos econômicos relevantes.

Outras iniciativas também contribuem para esse avanço e demandam fortalecimento por meio de políticas públicas, como:

- › o Programa Mover (Mobilidade Verde e Inovação), que incentiva a produção de veículos mais eficientes e o uso de biocombustíveis, reduzindo a pegada de carbono ao longo de toda a cadeia;
- › o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que promove a integração entre o setor agropecuário e a indústria química, ampliando o

uso de biocombustíveis de origem vegetal e animal.

### **Objetivos:**

- Racionalização do uso da água na cadeia produtiva do etanol com ênfase para as áreas de expansão, buscando desenvolvimento de tecnologias agrônômicas, para compor sistemas de produção de cana-de-açúcar, soja e milho regionalmente adaptados.
- Tendo em vista a elevada demanda prevista para a produção de etanol no Brasil, deve-se considerar as vertentes de seu atendimento pela expansão da área cultivada e pela otimização das condições de cultivo.
- As pressões internacionais por sustentabilidade do cultivo e as pressões de custo devido ao aumento do preço dos insumos agrícolas devem ser levadas em conta.
- O cultivo de cana-de-açúcar, soja e milho, no horizonte de médio e longo prazos, deverá contar com colheita mecanizada, considerando tecnologias prioritárias aquelas que objetivem a regionalização do cultivo, atendendo a diferentes tamanhos de lavoura, incluindo a agricultura familiar, em especial destinada a melhorar o estado sanitário, o manejo, as recomendações de fertilizantes.
- Estabelecer a associação entre a palhada remanescente pós-colheita e as características físico-químicas do solo e o efeito sobre a fenologia e a produtividade da cana-de-açúcar, soja e milho.



- Atualizar as recomendações de adubação para cana-de-açúcar, soja e milho, considerando as diferenças regionais, de sistemas de cultivo e de materiais genéticos.
- Identificar, pesquisar e desenvolver micro-organismos de alta eficiência para fixação simbiótica de nitrogênio na cana-de-açúcar, soja e milho.
- Identificar tecnologias de manejo da planta e do solo que proporcionem maior capacidade de retenção de água no solo.
- Estabelecer parâmetros para aperfeiçoar processos de irrigação em cana-de-açúcar, soja e milho.
- Definir critérios e parâmetros ecofisiológicos para o zoneamento agroecológico e econômico de espécies produtoras de óleo.
- Estabelecer estratégia para integrar a produção de insumos para biocombustíveis e a indústria no Brasil, tomando por base a consolidação de uma bioeconomia circular, que conecta o setor agrícola, pecuário e florestal diretamente às demandas industriais de baixo carbono, apoiada por políticas públicas de longo prazo, visando o fortalecimento da cadeia de valor campo-indústria.

### Agricultura e aquicultura marinha (maricultura)

Essas atividades representam uma das fronteiras mais promissoras para o desenvolvimento econômico sustentável do Brasil, frequentemente associadas ao conceito de “economia azul”. O País conta com

uma extensa linha costeira e uma Zona Econômica Exclusiva (ZEE) de aproximadamente 700 mil km<sup>2</sup>, o que amplia significativamente seu potencial produtivo.

A maricultura abrange o cultivo de peixes (piscicultura marinha), moluscos, algas e crustáceos. A produção de camarão marinho, especialmente no Nordeste, já apresenta forte relevância econômica. Além disso, o cultivo de espécies nativas e o avanço da carcinicultura têm se destacado nos últimos anos.

Nesse contexto, a maricultura se apresenta como uma alternativa sustentável de produção de alimentos, contribuindo para reduzir a pressão sobre os estoques pesqueiros naturais, atualmente afetados pela sobrepesca.

Outro segmento com grande potencial é a aquicultura ornamental marinha, um mercado multibilionário que pode ser expandido por meio do cultivo em cativeiro.

#### **Objetivos:**

- Licenciamento e ordenamento, tendo em vista o setor enfrentar barreiras burocráticas no licenciamento ambiental e necessidade de maior ordenamento do espaço costeiro.
- Investimento e políticas integradas voltadas à inovação tecnológica e ao apoio às comunidades pesqueiras, contemplando inúmeras demandas: a) monitoramento ambiental inteligente: uso de sensores IoT e inteligência artificial para monitoramento em tempo real de parâmetros como oxigênio dissolvido,



temperatura, pH e turbidez; b) nutrição e ração de precisão: formulação e manejo alimentar mais eficientes, com redução de desperdícios e impactos ambientais; c) sistemas de recirculação de água: tecnologias que permitem o reúso da água e viabilizam a produção em terra com alta densidade e menor impacto ambiental; d) cultivo multi-trófico integrado: criação conjunta de diferentes espécies, em que os resíduos de uma servem de alimento para a outra, contribuindo para o equilíbrio do sistema; e) genética e biotecnologia: desenvolvimento de linhagens mais resistentes a doenças, com melhor conversão alimentar, além de aplicações em análise genética; f) automação e robótica: uso de drones (aéreos e subaquáticos) e sistemas automatizados para monitoramento da produção, alimentação e integridade das estruturas; g) *big data* e *softwares* de gestão: plataformas que integram dados de sensores a modelos preditivos, permitindo antecipar variações climáticas, ocorrência de doenças e demandas de mercado.

### Infraestrutura e logística

São necessários projetos estruturantes para resolverem os seguintes desafios para atendimento aos produtos de origem vegetal (frutas, soja, milho, açúcar, café, trigo e outros), animal (carnes) e energética (etanol e outros), bem como

AGÊNCIA SP



em relação aos insumos (fertilizantes, agrotóxicos, maturadores e outros).

#### Objetivos:

- 1) *Desenvolvimento de Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (Inde)*
  - Incentivar representantes do Poder Legislativo a tomarem um papel ativo em todas as comissões e grupos de trabalho envolvidos no estabelecimento e direcionamento do desenvolvimento da Inde, em níveis regional e nacional.
  - Que o apoio financeiro venha inicialmente do governo federal, em articulação com os estados e municípios. Esses investimentos devem ser considerados como uma parte integrante das agendas do governo eletrônico,





porque a Inde sustenta a modernização do governo e o acesso crescente à informação do setor público.

- Adotar implantação faseada para o desenvolvimento da Inde, baseada na subsidiariedade, isto é, nos esforços nacionais e regionais já empreendidos.

## 2. Entraves logísticos

- Solucionar os estrangulamentos físicos da malha ferroviária na transposição de centros urbanos e no acesso aos portos.
- Ampliar a oferta de transporte de cabotagem.
- Sistematizar o transporte dutoviário para produtos de origem energética, em especial para o etanol.
- Sistematizar redes e infraestrutura de armazenagem envolvendo iniciativas

Agro de SP bate recorde em 2023 com superávit de US\$ 23,3 bilhões na balança comercial.

dos setores público e privado para expansão dessa capacidade.

- Incluir no Plano Agrícola e Pecuário linhas de financiamento específicas para apoiar os armazenadores de grãos, cujo objetivo seja a adequação das estruturas armazenadoras, conforme estabelecido na Instrução Normativa 33/2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), e o custeio das despesas para obtenção de certificação, contemplando como beneficiários todos os armazéns de pessoas físicas ou jurídicas.
- Organizar a visão da sociedade quanto à problemática da logística dos produtos refrigerados.

## 3. Operacionalização

- Definir uma Política Nacional de Transportes integrada às políticas estaduais e municipais.
- Estabelecer um plano consistente de ampliação da capacidade de movimentação portuária de grãos, compatível com as expectativas de expansão das exportações.
- Sistematizar a operação de fiscalização rodoviária, nos níveis federal, estadual e municipal, com harmonização da atuação dos agentes envolvidos.
- Elevar o nível de segurança para o transporte rodoviário, incluindo programa para a redução do número de acidentes e de incidentes de roubo de carga.



- Sistematizar a informatização dos processos de despacho de navios de cargas, tripulantes e passageiros nos portos e terminais portuários.

#### 4) Aspectos regulatórios

- Fomentar maior divulgação pelos agentes privados do quadro tarifário efetivo para o mercado *spot* de transporte ferroviário.
- Promover a construção naval e o armador nacional, entretanto, regulando meios que permitam a aquisição de navios em estaleiros internacionais.
- Definir junto ao setor privado mecanismos institucionais que viabilizem internalizar a autorização da instalação de terminais de contêineres.

#### 5) Gestão pública e governamental

- Melhorar a organização frente à sofisticação necessária para a administração dos negócios do Estado moderno, envolvendo modelo de gestão do orçamento da União, visão ecológica, aspectos sanitários, qualidade e desenvolvimento sustentável.
- Acelerar as medidas administrativas para concretização da implantação do Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte (Conit), que deverá elaborar uma Política Nacional de Transportes (PNT).
- Elaborar um plano para desenvolver uma rede nacional de frio, voltada ao armazenamento e transporte refrigerado, que integre e harmonize as iniciativas dos setores público e privado.

#### 6) Diversificação de modais

- Fortalecer a atuação da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Antaq) no concerto dos órgãos incumbidos de estabelecer e manter os níveis operacionais das usinas geradoras de energia e promover as hidrovias com base no uso múltiplo das águas.
- Reativar e atualizar o Programa de Harmonização das Atividades dos Agentes nos Portos (Prohage), estendendo suas diretrizes ao conjunto de modais logísticos. A ação visa garantir eficiência logística integral e competitividade, de forma a harmonizar o escoamento da produção agropecuária de grande escala, da agricultura familiar e da produção pesqueira, integrando os modais para redução do custo Brasil.

## Conclusão

Diante desse conjunto de desafios e oportunidades, impõe-se a adoção de estratégias integradas que articulem produção, inovação e sustentabilidade, com apoio de políticas públicas consistentes e coordenação entre os diversos atores envolvidos.

O fortalecimento dos sistemas agroalimentares, com base em práticas sustentáveis, intensificação responsável e uso de tecnologias, é essencial para ampliar a produção, reduzir impactos ambientais e garantir segurança alimentar e nutricional.

Ao mesmo tempo, a incorporação de soluções voltadas à adaptação às mudanças climáticas, à redução de perdas e ao



avanço da economia circular reforça a capacidade de resposta do setor. Trata-se de consolidar um modelo de desenvolvimento que combine eficiência produtiva, inclusão social e responsabilidade ambiental, posicionando o Brasil de forma ainda mais estratégica no cenário global.

## Referências

- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar. Plano Safra da Agricultura Familiar 2023/2024, Disponível em: [https://www.gov.br/mda/pt-br/acao/acoes-e-programas/CARTILHA\\_PLANOSA-FRA.pdf](https://www.gov.br/mda/pt-br/acao/acoes-e-programas/CARTILHA_PLANOSA-FRA.pdf) . Acesso em: 13 fev. 2026.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Programa Mapa Conecta – Fortalecendo a Inovação no Agro. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/mapaconecta/ecossistemas/matogrosso/detalhes-do-ecossistema/programa/mapaconecta>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- DWIH SÃO PAULO. Research and Innovation in Brazil: Support and Funding. Disponível em: <https://www.dwih-saopaulo.org/.../research-and-innovation-in-brazil-support-and-funding>. Acesso em: 18 dez. 2025.
- EMBRAPII. Embrapii e BNDES | Fomento à inovação na Indústria. Disponível em: <https://embrapii.org.br/bndes/>. Acesso em: 18 dez. 2025.
- FAO. WMO and FAO partner to enhance early warnings for the agriculture sector. 2024.
- ONU. Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015.
- Plano Diretor da Embrapa: 2024-2030 – Brasília, DF: Embrapa, 2024. PDF (45 p.). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1163372/1/PDE-2024-2030.pdf> . Acesso em: 4 fev. 2026.
- VOULGARIDIS, K.; THOMAS L., AND PANAGIOTIS S.. "Towards industry 5.0 and digital circular economy: Current research and application trends." In: 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS). IEEE, 2022.

## Em síntese



- A segurança alimentar depende da integração entre tecnologia, sustentabilidade e políticas públicas.
- O Brasil tem base produtiva forte, mas precisa de planejamento estratégico considerando seus biomas.
- Fortalecer a ciência, tecnologia e inovação (C,T&I) como eixo estruturante do agro.
- Reestruturar o sistema nacional de pesquisa agropecuária, com articulação entre instituições.
- Ampliar parcerias público-públicas e público-privadas com segurança jurídica.
- Expandir práticas de intensificação sustentável, como ILPF e agricultura de baixo carbono.
- Avançar em biotecnologia e bioeconomia voltadas à resiliência climática.
- Melhorar a gestão da água e o uso eficiente dos recursos naturais na produção.
- Estruturar a aquicultura e a maricultura com tecnologia, monitoramento e ordenamento.
- Integrar dados e sistemas de informação para planejamento territorial e produtivo.
- Conectar o agro à indústria, especialmente na agenda de biocombustíveis e transição energética.
- Resolver gargalos logísticos, com destaque para armazenagem e cadeia do frio.



# Sustentabilidade, tecnologia e os limites das políticas públicas no Brasil



**Guilherme S. Bastos Filho**

*Coordenador do Centro de Estudos do Agronegócio da Fundação Getúlio Vargas (FGV Agro), engenheiro agrônomo, mestre em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) e University of Maryland*



**Felipe Serigati**

*Pesquisador e coordenador de cursos do Centro de Estudos do Agronegócio (FGV Agro), economista, mestre e doutor em Economia (FGV)*



**Roberta Possamai**

*Pesquisadora do Centro de Estudos do Agronegócio (FGV Agro), economista, mestre em Agronegócio (FGV)*

FOTOS: ACERVOS PESSOAIS



**O** Brasil é, simultaneamente, um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo e um país que convive com bolsões persistentes de insegurança alimentar. Um ponto central nessa aparente contradição é que os quadros de insegurança alimentar no Brasil se explicam muito mais pelo lado da demanda do que da oferta. Pelos dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), no triênio 2017-2019, a prevalência de subalimentação na população era de 2,5%.

Durante a pandemia, quando houve forte contração da renda (inclusive no Brasil), a prevalência de subalimentação subiu para 4,7%, e o País entrou para o chamado mapa da fome. Por fim, no triênio seguinte (2021-2023), com os programas de transferência de renda robustecidos, a prevalência de subalimentação caiu para 3,9% da população.

Mesmo que os problemas de insegurança alimentar não sejam explicados pela produção agropecuária ou pelas suas exportações, o universo agro brasileiro tem um papel fundamental para garantir que essa produção ocorra e possa gerar renda e divisas que, de forma direta ou indireta, contribuem para manter o País fora do mapa da fome.

Diante desse papel central do agro, articulam-se cinco dimensões centrais: (i) os riscos climáticos e a sustentabilidade produtiva; (ii) o papel transformador das tecnologias agrícolas; (iii) a agregação de valor nas cadeias agroindustriais; (iv) o lugar da agricultura familiar no sistema agroalimentar; e (v) os limites dos instrumentos de política pública vigentes.

## Sustentabilidade e riscos climáticos

A agricultura brasileira opera atualmente sob um ambiente de risco sistematicamente diferente do que prevaleceu nas últimas décadas. As mudanças climáticas não são uma ameaça futura – são uma realidade presente, com impactos mensuráveis sobre a distribuição espacial e temporal das chuvas, a frequência de eventos extremos (secas, enchentes, geadas fora de época) e a expansão de vetores de pragas e doenças.

Estudos indicam que regiões agrícolas consolidadas do Centro-Oeste e do Nordeste já registram aumentos significativos na variabilidade climática, com impactos sobre a estabilidade das safras de soja, milho, algodão e feijão (Cerri et al., 2024; Assad & Lopes Assad, 2024). No semiárido, a intensificação das secas compromete a pecuária extensiva e a produção de subsistência de milhões de famílias rurais.

A resposta a esse cenário exige atuação em dois planos. No plano adaptativo, é preciso avançar no monitoramento climático



(rede de estações meteorológicas), nos sistemas de alerta climático agrícola, na difusão de variedades tolerantes ao estresse hídrico e térmico, e na expansão da irrigação como instrumento de resiliência. No plano mitigatório, o Brasil tem a oportunidade singular de liderar a transição para sistemas de produção de baixo carbono, fomentados pelo Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Plano ABC+) e por mecanismos emergentes de mercado de carbono agropecuário como instrumentos centrais.

A sustentabilidade abrange também a proteção dos recursos naturais – solos, água, biodiversidade –, cuja degradação compromete a base produtiva de longo prazo. A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), o plantio direto consolidado e a recuperação de pastagens degradadas são tecnologias comprovadas que conjuguem ganhos produtivos com conservação ambiental. A questão não é mais tecnológica, mas de adoção em escala.

O Brasil possui cerca de 28 milhões de hectares de pastagens degradadas com potencial de recuperação e conversão produtiva, segundo estudos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) publicados em 2024. Desse total, 10,5 milhões de hectares apresentam degradação severa e 17,5 milhões, degradação intermediária, todas em áreas com boa ou muito boa aptidão agrícola. Em 2025, o Ministério da Agricultura mapeou

áreas prioritárias de recuperação em nove estados, reforçando o potencial dessas pastagens para intensificação pecuária, sistemas integrados (ILPF) e conversão agrícola sustentável.

O Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro) e o seguro rural privado tornaram-se instrumentos essenciais diante da intensificação dos eventos climáticos extremos. Entre 2015 e 2025, essas ferramentas desembolsaram aproximadamente R\$ 80 bilhões em indenizações, protegendo milhares de produtores e evitando perdas patrimoniais decorrentes de secas, enchentes e geadas. Apesar de sua relevância crescente, a cobertura ainda é bastante limitada: em 2025, menos de 4% da área agrícola brasileira estava segura pelo Programa de Seguro Rural (PSR) e apenas 3% contavam com cobertura do Proagro, evidenciando a elevada exposição ao risco que ainda caracteriza a produção agropecuária nacional.

## A fronteira que não chegou a todos

A agricultura brasileira de grande escala é hoje uma das mais tecnologicamente avançadas do mundo. A adoção de sementes geneticamente melhoradas, agricultura de precisão, monitoramento por satélite, sistemas de informação agroclimática e, mais recentemente, a inteligência artificial aplicada à gestão de lavouras colocam o agronegócio brasileiro na fronteira tecnológica global.



Porém, essa fronteira é altamente segmentada. O levantamento do Serviço de Pesquisa Econômica do Departamento de Agricultura (Usda/ERS) de 2024 indica que, nos Estados Unidos, 70% das grandes propriedades adotam sistemas de piloto automático em equipamentos agrícolas, contra apenas 9% das pequenas. A divergência se replica para tecnologias de mapeamento, taxa variável e drones. No Brasil a segmentação é ainda mais pronunciada, dado o *déficit* de infraestrutura digital no meio rural: conectividade, energia elétrica e assistência técnica qualificada.

**A tecnologia agrícola, quando difundida de forma ampla, tem efeitos multiplicadores sobre produtividade, eficiência no uso de insumos e resiliência climática.**

A adoção de agricultura de precisão no Brasil avança de forma acelerada, impulsionada pela digitalização do campo e pelo barateamento de tecnologias como sensores, drones e máquinas com piloto automático. Tecnologias baseadas em dados permitem diagnósticos mais precisos e aplicações localizadas de insumos, o que aumenta a produtividade e reduz custos operacionais.

A Embrapa tem desempenhado papel decisivo na disseminação dessas tecnologias, desenvolvendo soluções adaptadas para pequenos e médios produtores em diferentes biomas, como Cerrado, Amazônia, Caatinga e Mata Atlântica. Iniciativas como o projeto Semear Digital reforçam a democratização da agricultura de precisão, tornando técnicas avançadas viáveis também para propriedades de menor escala. Entretanto, a expansão plena dessas tecnologias depende da ampliação da conectividade rural.

A tecnologia agrícola, quando difundida de forma ampla, tem efeitos multiplicadores sobre produtividade, eficiência no uso de insumos e resiliência climática. A digitalização das cadeias produtivas abre também novas possibilidades de rastreabilidade e certificação, exigências crescentes dos mercados importadores europeus e asiáticos. O Brasil precisa, portanto, de uma política deliberada de democratização tecnológica no campo que articule formação, extensão rural, pesquisa adaptativa e infraestrutura digital.

### **Agroindustrialização e agregação de valor**

As exportações do agronegócio brasileiro atingiram US\$ 169,2 bilhões em 2025, novo recorde histórico e aumento de 3% em relação ao ano anterior. Esse montante correspondeu a 48,5% de toda a pauta exportadora nacional, reforçando a centralidade do setor na balança comercial



brasileira. Aproximadamente 90% desse total correspondeu a *commodities* primárias – como soja em grão, carnes *in natura*, açúcar bruto, celulose e café verde – o que representou cerca de US\$ 152 bilhões.

Por outro lado, apenas 10% das exportações, ou aproximadamente US\$ 17 bilhões, foram compostas por produtos de “alto valor agregado”, como carnes processadas, derivados refinados do açúcar, óleos e farelos de soja com maior processamento e café solúvel. Essas cadeias demonstram potencial relevante de expansão, mas ainda enfrentam barreiras estruturais, notadamente armazenagem insuficiente, limitação da cadeia de frio e restrições logísticas. A consolidação dessas cadeias depende de condições sistêmicas: infraestrutura logística adequada, política tributária que não onere desnecessariamente o processamento doméstico e mecanismos de financiamento de longo prazo.

O papel das cooperativas é central para integrar a produção da agricultura familiar aos processos de industrialização e agregação de valor. No entanto, nas regiões Norte e Nordeste – justamente onde se concentra o maior número de estabelecimentos familiares – a presença e a capilaridade das cooperativas são significativamente menores, reduzindo a capacidade de organização econômica desses produtores.

## Agricultura familiar

Embora seja frequentemente citada como responsável por 70% dos alimentos

consumidos no País, a agricultura familiar brasileira, na verdade, responde por 23% do Valor Bruto da Produção (VBP) da agropecuária nacional, conforme estudo do FGV Agro, com base nos microdados do Censo Agropecuário 2017. Esse número mostra que a agricultura familiar é relevante, mas muito mais diversa e desigual do que costuma se afirmar.

Essa contribuição produtiva coexiste com uma situação de vulnerabilidade estrutural significativa. A maioria dos estabelecimentos familiares opera com baixa produtividade, acesso precário a crédito, assistência técnica insuficiente, infraestrutura logística deficiente e dificuldades de acesso a mercados. O resultado é uma estrutura de renda instável, dependente em muitos casos de transferências públicas e de pluriatividade – a combinação de atividades agrícolas e não agrícolas como estratégia de sobrevivência.

A recente publicação organizada por Castro, Garcia e Navarro (2025), “Dinâmica econômica e o mundo do trabalho no Brasil rural”, oferece um retrato analítico denso da diversidade regional desse segmento. Em um de seus capítulos, ao analisar a cadeia de aves e suínos, os autores descrevem com precisão o dilema estrutural dos pequenos produtores integrados: ampliar escala exige capital e endividamento; manter a situação atual significa sujeitar-se à deterioração progressiva das margens; e desengajar só é viável para quem está próximo da apo-





*Compartilhamento de dados busca aprimorar políticas públicas para a agricultura familiar.*

sentadoria ou inserido em mercados de trabalho locais dinâmicos.

## O dilema das políticas públicas

O Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) há três décadas é o principal instrumento de crédito rural para os agricultores familiares brasileiros. Criado em 1996, o programa ampliou significativamente o acesso ao financiamento para um segmento historicamente excluído do sistema bancário, o que é um avanço inegável em termos de inclusão financeira rural.

No entanto, uma análise mais apurada de seus resultados revela limitações estruturais que precisam ser enfrentadas com honestidade intelectual. O Pronaf, em sua configuração atual, é primordialmente um programa de acesso a crédito subsidiado,

não uma ferramenta de transformação produtiva. Ele viabiliza o custeio da safra e, em menor medida, o investimento em equipamentos, mas não necessariamente promove saltos de produtividade, diversificação produtiva ou integração mais vantajosa às cadeias de valor.

Pesquisas acadêmicas indicam que os impactos do Pronaf sobre a renda e, especialmente, sobre a produtividade dos beneficiários são heterogêneos e, em muitos casos, modestos. Feijó (2003) demonstra que as culturas mais financiadas pelo programa apresentam taxas de crescimento da produtividade não superiores às observadas entre agricultores não atendidos, sugerindo que o crédito, quando não associado a mudanças tecnológicas, não gera transformação produtiva mensurável.



## O crédito, desacompanhado de assistência técnica qualificada, financia a manutenção do *status quo*, não a transformação produtiva.

Além disso, análises recentes de Machado et al. (2024) mostram que parte dos recursos, sobretudo os destinados ao Pronaf B, é frequentemente aplicada em atividades de baixo dinamismo tecnológico, o que leva ao uso ineficiente do crédito e contribui para a renovação cíclica das dívidas. O estudo evidencia ainda que beneficiários dessa tipologia apresentam, em alguns casos, impactos negativos sobre indicadores de desempenho produtivo, reforçando a necessidade de articulação com políticas complementares, como assistência técnica e extensão rural.

### Assistência técnica e extensão rural

O crédito, desacompanhado de assistência técnica qualificada, financia a manutenção do *status quo*, não a transformação produtiva. O serviço público de Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater) constitui, de fato, o elo mais frágil da política de apoio à agricultura familiar no Brasil. Domingues e Rover (2026) demons-

tram que a maioria dos estabelecimentos agropecuários brasileiros não acessa qualquer tipo de assistência técnica, mantendo barreiras estruturais à adoção tecnológica e ao aumento da produtividade.

De forma complementar, Peixoto (2020) identifica grandes deficiências persistentes na política de Ater, incluindo escassez de recursos, baixa capilaridade, desigualdade territorial no atendimento e fragilidades na qualidade da orientação técnica, mesmo após décadas de esforços institucionais. Além disso, Santos e Zonin (2024) mostram que predomina no País uma assistência técnica pontual e fragmentada, com pouca atuação contínua de extensão rural, o que limita o potencial transformador das políticas públicas e restringe a capacidade de inovação e de inserção produtiva da agricultura familiar.

Sem extensionistas capacitados para transmitir tecnologias, apoiar a transição agroecológica ou integrar os produtores a novos mercados – incluindo aqueles institucionais do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) e do Programa Nacional de Alimentação Escolar (Pnae) –, o crédito perde grande parte de seu potencial transformador. A comparação com modelos internacionais é instrutiva: países que construíram sistemas robustos de apoio à pequena agricultura combinam subsídios com exigências de desempenho produtivo, ambiental e sanitário, criando incentivos para a modernização contínua.



## Por uma política agrícola que emancipe

A agricultura brasileira do século XXI enfrenta desafios complexos e interconectados: a urgência da adaptação climática, a necessidade de democratizar o acesso à tecnologia, o imperativo de agregar valor às cadeias produtivas, a proteção de uma agricultura familiar estruturalmente vulnerável e a busca de equilíbrio entre competitividade exportadora e segurança alimentar interna. Nesse contexto, o fortalecimento do associativismo e das cooperativas torna-se elemento decisivo, pois essas organizações ampliam o poder de barganha dos agricultores familiares, facilitam o acesso a insumos, assistência técnica e tecnologias emergentes, e sobretudo viabilizam a inserção desses produtores em cadeias de valor mais dinâmicas, por meio de contratos que asseguram compra, preço e estabilidade comercial.

Esses desafios não serão superados com mais do mesmo. O Brasil precisa de uma nova geração de políticas agrícolas que vá além do acesso ao crédito subsidiado e proponha trajetórias reais de transformação produtiva – combinando financiamento com assistência técnica qualificada, incentivando a adoção de tecnologias adequadas a diferentes escalas, integrando os produtores familiares e suas organizações econômicas a arranjos produtivos mais robustos, e construindo mercados que valorizem a

produção diversificada. Cooperativas e associações, ao estruturarem contratos de fornecimento e garantirem condições de comercialização, desempenham papel essencial na redução de riscos, no aumento da renda e na estabilidade produtiva das famílias agricultoras.

O objetivo não deve ser perpetuar a dependência dos agricultores em relação ao Estado, mas criar as condições para que ampliem sua renda, produtividade e resiliência de forma autônoma e sustentável. Uma política agrícola verdadeiramente emancipatória é, ao mesmo tempo, uma política de segurança alimentar, e isso requer sistemas cooperativos fortes, capazes de sustentar a produção, o processamento e a comercialização local.

Nesse sentido, a engenharia – agrônoma, florestal, de alimentos, hídrica – tem papel central e insubstituível. É a engenharia aplicada ao campo que viabiliza a irrigação eficiente, o armazenamento adequado, o processamento de alimentos, a gestão ambiental das propriedades e a infraestrutura logística que conecta produtores a consumidores.

Aliada ao cooperativismo e ao associativismo, a engenharia potencializa sua capacidade transformadora, ampliando escala, reduzindo custos e fortalecendo a competitividade da agricultura familiar. Fortalecer a engenharia pública e privada a serviço do desenvolvimento rural brasileiro é, em última análise, fortalecer a própria segurança alimentar do País.



## Referências

- ASSAD, Eduardo Delgado; LOPES ASSAD, Maria Leonor Ribeiro Casimiro. Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades. Estudos Avançados, v. 38, n. 112, 2024.
- CASTRO, Nicole Rennó; GARCIA, Junior Ruiz; NAVARRO, Zander (orgs.). Dinâmica econômica e o mundo do trabalho no Brasil rural. São Paulo: Editora Baraúna, 2025.
- CERRI, C. E. P. et al. Estratégias de mitigação e adaptação climática no setor agropecuário brasileiro. Ciência e Cultura, v. 76, n. 3, 2024.
- COALIZÃO BRASIL CLIMA, FLORESTAS E AGRICULTURA. Recomendações para uma nova governança de Assistência Técnica e Extensão Rural no Brasil. Relatório técnico, 2026.
- DOMINGUES, Juliano Vitória; ROVER, Oscar José. O acesso como objeto de análise em assistência técnica e extensão rural. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 64, e300466, 2026.
- DIESEL, Vivien; NEUMANN, Pedro Selvino; DIAS, Marcelo Miná; FROELICH, José Marcos. Política de Assistência Técnica e Extensão Rural no Brasil: um caso de desmantelamento? Estudos Sociedade e Agricultura, v. 29, n. 3, 2021.
- FEIJÓ, Ricardo L. C. Avaliação preliminar do impacto do Pronaf na produtividade da agricultura familiar. USP/FEA-RP, 2003.
- MACHADO, Bruno de Souza; NEVES, Mateus de Carvalho Reis; BRAGA, Marcelo José; COSTA, Davi Rogério de Moura. Access and impact of Pronaf in Brazil: evidence on typologies and regional concentration. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 62, n. 3, 2024.
- PEIXOTO, Marcus. Assistência técnica e extensão rural: grandes deficiências ainda persistem. In: VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro; GASQUES, José Garcia (orgs.). Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do censo agropecuário. Brasília: Ipea, 2020. pp. 323-338.
- SANTOS, Tatiane dos; ZONIN, Valdecir José. Uma revisão sistemática sobre os serviços de assistência técnica e extensão rural: uma segmentação presente. Revista de Gestão e Secretariado, v. 15, n. 1, 2024.

## Em síntese



- A insegurança alimentar no Brasil não decorre da produção, mas da desigualdade de renda.
- O agro é altamente produtivo, mas ainda pouco integrado em termos de inclusão e valor agregado.
- Adaptar a produção às mudanças climáticas tornou-se imperativo imediato.
- Ampliar o uso de tecnologias já disponíveis, como ILPF e recuperação de pastagens.
- Democratizar o acesso à agricultura de precisão e à conectividade rural.
- Fortalecer assistência técnica e extensão rural como base da transformação produtiva.
- Integrar crédito rural a políticas de inovação e aumento de produtividade.
- Expandir o seguro rural e instrumentos de gestão de risco climático.
- Estimular a agroindustrialização para agregar valor às exportações.
- Fortalecer cooperativas como ponte entre pequenos produtores e mercado.
- Reduzir desigualdades estruturais da agricultura familiar.
- Construir políticas públicas que promovam autonomia produtiva, e não dependência.



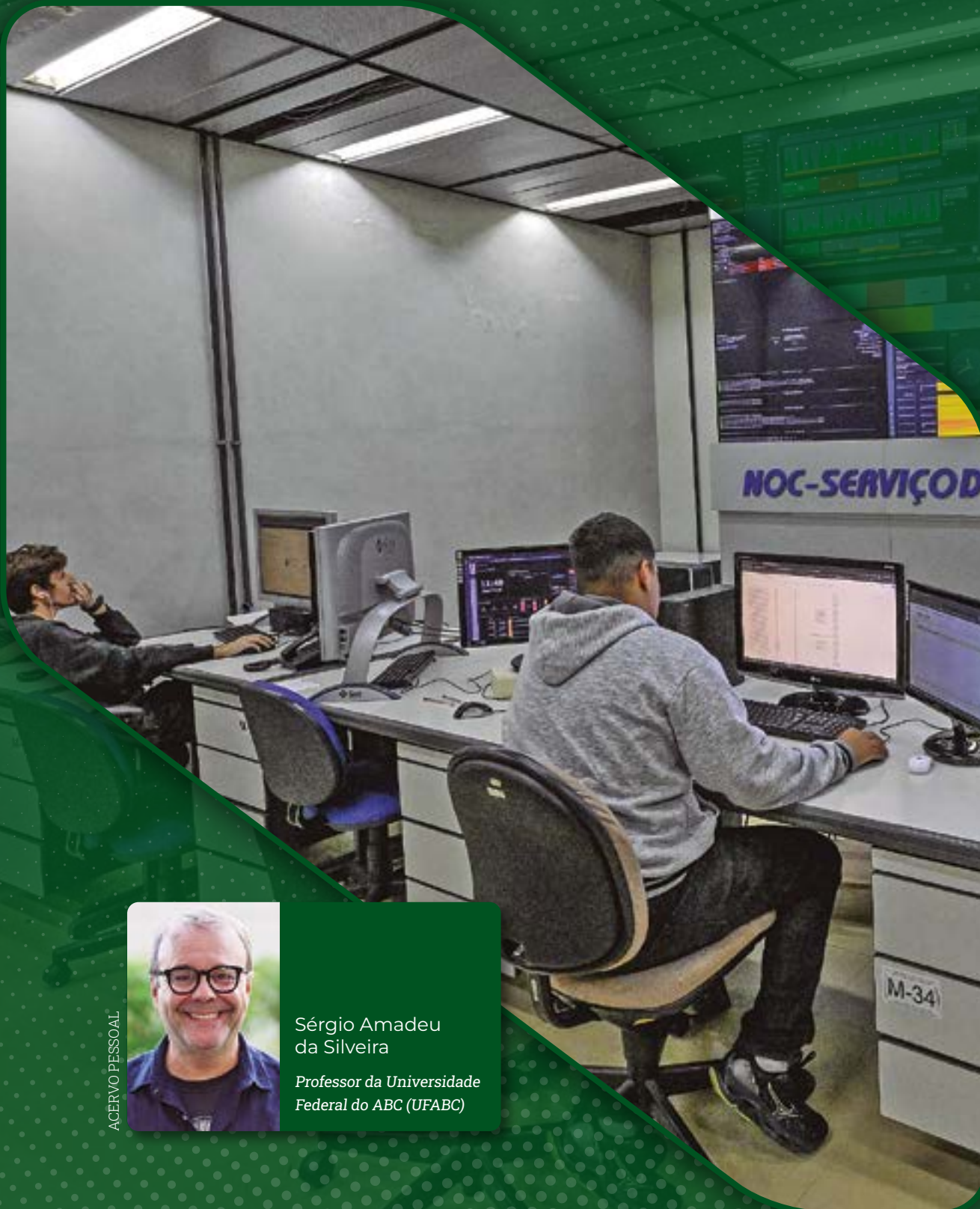


# Uma ampla coalizão pela valorização da profissão e em prol do desenvolvimento

Uma iniciativa da



# Sem autonomia digital não há soberania nacional



ACERVO PESSOAL

Sérgio Amadeu  
da Silveira

Professor da Universidade  
Federal do ABC (UFABC)



**A** história do imperialismo pode ser contada como a história do controle sobre os insumos fundamentais da produção. No século XIX, a corrida pelo carvão e pelo ferro determinou as hierarquias entre as nações industriais. No século XX, o petróleo e o aço foram os marcadores mais evidentes das assimetrias de poder entre o centro e a periferia do sistema mundial. No século XXI, os dados, o poder computacional, os algoritmos de aprendizado profundo e as infraestruturas digitais que os sustentam configuram os novos eixos da divisão internacional do trabalho.

Quem controla esses insumos determina quem manda, quem obedece e quem permanece na condição de mero fornecedor de matéria-prima, que na atualidade são os dados de populações inteiras.

A soberania digital não é uma metáfora política nem mera retórica de agendas progressistas ou de esquerda. Ela é uma condição estrutural da soberania nacional no mundo digitalizado e datafocado. Sem controle sobre as infraestruturas digitais, sem domínio sobre os dados gerados pela população, sem capacidade de inventar, treinar e operar sistemas de inteligência artificial, um país não é soberano em nenhum sentido substantivo do termo. É um território administrado a distância por corporações privadas que exercem poder sem os constrangimentos do Estado democrático de Direito. Essa é a condição atual de grande parte da América Latina, do Brasil em particular.

Em 1969, Fernando Henrique Cardoso e Enzo Faletto publicaram “Dependência e desenvolvimento na América Latina”, obra

que se tornaria referência obrigatória para compreender as relações entre centro e periferia no capitalismo tardio. Os autores propunham superar a visão estruturalista cepalina – que enxergava a dependência como obstáculo ao desenvolvimento – para afirmar que seria possível desenvolver-se dentro da dependência, desde que por meio de uma associação estratégica com o capital internacional. Esse processo permitiria a modernização das economias periféricas sem romper com a ordem econômica global.

A tese central do desenvolvimento associado defendida por Cardoso e Faletto, embora sofisticada em sua formulação sociológica, acabou fornecendo o arcabouço ideológico para uma prática política que persistiu por décadas: a de que a modernização do País passa inevitavelmente pela subordinação ao grande capital, preferencialmente estadunidense, e não pela construção de uma capacidade tecnocientífica autônoma e soberana.

A noção de que é possível ser moderno e dependente foi incorporada pelas elites



brasileiras como uma certeza quase natural e encontrou sua expressão mais acabada nos anos 1990, durante os dois mandatos do próprio Cardoso na Presidência da República. Nesse período, as privatizações, a abertura comercial e a desregulamentação financeira foram implementadas em nome da modernização associada.

O problema fundamental dessa visão, que a realidade do século XXI tornou inescapável, é que ela subestima sistematicamente o grau em que as assimetrias tecnológicas geram dependência política, econômica e militar de longo prazo. A tese da dependência associada pressupõe que o País dependente preserva capacidade de negociação, que a internacionalização do capital não elimina os espaços de manobra das elites nacionais. No entanto, no capitalismo digital baseado em dados, a dependência tecnológica não apenas limita a capacidade de negociação, mas também a elimina progressivamente. Atualmente dados da população brasileira são processados em servidores da Amazon, da Microsoft ou do Google; os algoritmos que decidem crédito, emprego, assistência social e segurança pública são desenvolvidos nos laboratórios das *big techs* estadunidenses; o governo federal terceiriza sua inteligência artificial para a IBM e entrega os dados de seus servidores para treinar modelos de linguagem localizados nos Estados Unidos. Nesse contexto, não há desenvolvimento associado, mas colonialidade digital.

É preciso superar definitivamente essa lógica. A modernização do Brasil não pode continuar sendo concebida como a adoção de tecnologias criadas por outros. Ser moderno é inventar, criar, desenvolver e controlar as tecnologias que estruturam a vida social e econômica do País. Continuar na posição de meros consumidores e usuários de plataformas estrangeiras ou fornecedores de dados para alimentar algoritmos de outros é repetir, em formato digital, a velha e infame política de exportar ferro para comprar aço.

## A ordem mundial em dissolução

Em janeiro de 2026, o primeiro-ministro do Canadá, Mark Carney, discursou no Fórum Econômico Mundial de Davos com uma clareza perturbadora: a ordem mundial como era conhecida desde o pós-guerra havia chegado ao fim. Carney, economista de formação e ex-presidente do Banco do Canadá e do Banco da Inglaterra, não é um radical anticapitalista. Suas palavras expressavam o reconhecimento pragmático de que as regras do sistema internacional, incluindo os acordos multilaterais, as instituições de governança global, as normas do comércio e do direito internacional, estavam sendo demolidas com velocidade e liberdade. O discurso de Carney em Davos sinalizou que mesmo as elites do capitalismo central percebem que o terreno sob seus pés está se movendo.



## É preciso superar a lógica da colonialidade digital. A modernização do Brasil não pode continuar sendo concebida como a adoção de tecnologias criadas por outros.

Esse movimento tem nome e sobrenome. A doutrina que o governo Donald Trump passou a executar a partir de 2025 – apelidada nos círculos diplomáticos de Donroe em referência à Doutrina Monroe do século XIX – combina unilateralismo econômico radical, protecionismo tecnológico agressivo e pressão política sobre aliados e rivais com uma intensidade sem precedentes nos últimos 80 anos. A Doutrina Monroe original proclamava a hegemonia dos Estados Unidos sobre o continente americano. A versão atualizada proclama sua hegemonia sobre o planeta, com particular ênfase no domínio das infraestruturas digitais, das cadeias de semicondutores e dos dados globais. Enquanto os EUA erguem muros para proteger suas tecnologias estratégicas, exigem que os demais países mantenham suas economias abertas à extração de dados por suas *big techs*.

O secretário de Estado dos EUA, Marco Rubio, em sua primeira visita à Europa em fevereiro de 2026, traduziu essa doutrina sem rodeios. Deixou claro que os Estados

Unidos esperam que seus aliados europeus se alinhem às suas posições em matéria de tecnologia, inteligência artificial e dados – os que se recusarem arcarão com as consequências. O discurso de Rubio foi lido por analistas europeus como uma declaração de caráter neocolonialista: a potência tecnológica dominante exigindo, de parceiros formalmente soberanos, a submissão às suas corporações digitais e às suas prioridades geopolíticas. Se a Europa – com toda a sua sofisticação regulatória, seu AI Act e seu Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR, na sigla em inglês) – sente a pressão, o que dizer do Brasil e demais nações da América do Sul?

Esse cenário de tensão crescente redefine completamente o debate sobre soberania digital. A independência tecnológica deixou de ser uma questão apenas de desenvolvimento econômico ou de proteção de direitos digitais. Tornou-se um fator crucial da segurança nacional. Um país que não controla suas infraestruturas digitais e não possui capacidade de operar sistemas de inteligência artificial sem depender de corporações estrangeiras é vulnerável de formas que vão muito além da esfera econômica. Isso se dá nas dimensões militar, política e da governança democrática.

### Complexo militar-industrial-datificado

As grandes empresas de tecnologia digital e de inteligência artificial não são



apenas atores econômicos privados que operam no mercado de dados. Elas são componentes essenciais do complexo militar-industrial norte-americano, atualizado e expandido para a era digital. A integração entre as *big techs* e o aparato de segurança e defesa dos Estados Unidos não é acidental nem superficial, mas estrutural.

Empresas como Amazon, Microsoft, Oracle, Google e Palantir são fornecedoras de contratos bilionários para agências de inteligência como a CIA e a NSA, para o Departamento de Defesa e para os principais comandos militares norte-americanos. A Amazon Web Services hospeda dados classificados de múltiplas agências governamentais. O Google desenvolveu projetos de visão computacional e análise de imagens de satélite para o Pentágono. A Palantir – empresa criada com financiamento inicial da CIA, por meio de seu braço de capital de risco In-Q-Tel – vende plataformas de análise de dados e de fusão de inteligência para dezenas de governos, incluindo o brasileiro, o que é altamente preocupante.

Essa fusão entre capital privado tecnológico e aparato estatal de segurança configura o que pode ser nomeado de complexo militar-industrial-datafocado, uma atualização do conceito de Eisenhower para capturar a especificidade do capitalismo de vigilância na sua dimensão geopolítica e bélica. Nesse complexo, as fronteiras entre inteligência comercial e de Estado se dissolvem. Os dados coletados pelas

plataformas sobre populações do mundo inteiro alimentam tanto os modelos de negócios publicitários quanto os sistemas de vigilância e de operações psicológicas dos serviços de inteligência dos EUA.

Para o Brasil e para os países do Sul Global, essa realidade tem implicações que não podem ser ignoradas. Cada contrato que um governo latino-americano assina com a Amazon, a Microsoft ou a Palantir não é apenas uma transação comercial. É uma transferência de soberania. É a entrega dos dados da administração pública, dos cidadãos, das operações governamentais a organizações estruturalmente conectadas ao aparato de segurança dos Estados Unidos. A Cloud Act, aprovada em 2018, obriga as empresas de tecnologia dos EUA a fornecerem dados armazenados em seus servidores ao governo, independentemente de onde esses dados estejam fisicamente localizados. Uma lei estadunidense regula os dados brasileiros hospedados em nuvens estrangeiras. Isso não é parceria. Isso é colonialismo digital em formato jurídico.

## A soberania começa nas regras

A regulação das plataformas digitais e dos sistemas de inteligência artificial é uma condição necessária, embora não suficiente, da soberania digital. O Brasil deu passos importantes com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), mas a regulação dos sistemas algorítmicos, das plataformas de redes sociais e dos grandes modelos de linguagem ainda está em construção. O de-



bate regulatório brasileiro precisa avançar para além da proteção de dados pessoais, incorporando as questões da transparência e explicabilidade dos sistemas automatizados, a responsabilidade pelos danos gerados por algoritmos discriminatórios e a necessidade de auditoria pública dos sistemas que afetam direitos fundamentais. Como advertiu Tarcízio Silva, pesquisador em tecnologia, IA e direitos humanos, o princípio da explicabilidade deve ser encarado como pertinente não apenas às linhas de código, mas também aos processos de planejamento e implementação e à definição sobre quem os sistemas beneficiam ou excluem. Não existe democracia baseada na opacidade algorítmica.

Mas a regulação não pode se limitar ao plano normativo. É preciso avançar para o controle efetivo dos insumos fundamen-

tais da inteligência artificial. O aprendizado profundo é dependente de três recursos essenciais: dados, poder computacional e algoritmos. Dados exigem infraestruturas de armazenamento soberanas. Poder computacional exige acesso a semicondutores avançados – as Unidades de Processamento Gráfico (GPUs, na sigla em inglês) e as Unidades de Processamento Tensorial (TPUs) que fazem o processamento pesado do treinamento de modelos. E semicondutores dependem de terras raras e de minerais críticos, cujas reservas, em parcela significativa, estão em países do Sul Global, incluindo o Brasil.

Por isso mesmo, a política brasileira para as terras raras precisa romper definitivamente com o modelo extrativista. As terras raras devem ser exploradas exclusivamente em parceria com empresas de

INGRID ANDRADE/SEAD



*Sistema Eletrônico de Informações (SEI) confere mais agilidade com novo fluxo digital.*



capital nacional, em arranjos que garantam beneficiamento e industrialização no próprio território brasileiro, que gerem tecnologia local e que não repitam a tragédia histórica de exportar matéria-prima barata para importar produto manufaturado caro. O Brasil não pode continuar a exportar terras raras para que outros países as transformem nos *chips* que nos vendem depois a preços de monopólio.

### Alianças com o Sul Global

O isolamento tecnológico não é uma opção viável para nenhum país que aspire à soberania digital. A escala dos recursos necessários para desenvolver infraestruturas de IA, treinar grandes modelos de linguagem e construir ecossistemas digitais soberanos está além das capacidades individuais de qualquer país do Sul Global, incluindo o Brasil. A resposta não é a dependência renovada em relação às *big techs* estadunidenses ou europeias, mas sim a construção de alianças estratégicas com países que compartilham tanto a condição de semiperiféricos no sistema tecnológico global quanto a determinação de superar essa condição.

É vital ao Brasil, nesse contexto, construir alianças sólidas e de longo prazo com o Sul Global, com o objetivo explícito de internalizar tecnologias estratégicas e de criar capacidade tecnocientífica autônoma. Os Brics oferecem um quadro político relevante para essa articulação, mas ele precisa ser substanciado com acordos concretos de cooperação tecnológica.

Com a China, cuja capacidade tecnológica em inteligência artificial rivaliza com a dos Estados Unidos, o Brasil pode construir arranjos produtivos que permitam acesso a tecnologias de semicondutores, a *frameworks* de aprendizado profundo e a metodologias de treinamento de modelos de linguagem em português. Com a Índia, que possui um dos ecossistemas de desenvolvimento de *software* mais robustos do mundo e uma tradição de soberania tecnológica que remonta às suas políticas espacial e nuclear, é pos-

**A política terá de ser feita com o objetivo de obter resultados que sirvam ao desenvolvimento sustentável e à preservação ambiental.**

sível articular parcerias em segurança cibernética e em inteligência artificial aplicada à agricultura, à saúde e à educação. Com a Malásia, que avançou de forma notável na construção de capacidade industrial em eletrônica e está investindo agressivamente em inteligência artificial, arranjos produtivos nos segmentos de manufatura de componentes eletrônicos e de desenvolvimento de aplicações de IA podem gerar benefícios mútuos significativos.



Esses arranjos precisam ser montados de forma inteligente, combinando investimentos públicos e privados, envolvendo as universidades e centros de pesquisa brasileiros como protagonistas. O critério central deve ser não apenas a viabilidade econômica imediata, mas a construção de capacidade tecnológica endógena de longo prazo. A lógica não é comprar tecnologia pronta, e sim construí-la em conjunto, gerando aprendizado e competência local que permaneça no território nacional.

### **Data centers, IA e inovação**

A construção de infraestruturas próprias para o armazenamento, o treinamento e a inferência de modelos de inteligência artificial é um dos pilares incontornáveis de qualquer política séria de soberania digital. O Brasil precisa investir de forma decidida na criação de uma rede de *data centers* federados que sejam distribuídos geograficamente e interoperáveis, gerenciados por instituições públicas ou por consórcios nacionais. É preciso manter os dados das universidades públicas, dos hospitais, das pesquisas científicas e das políticas sociais sob o controle de pesquisadores e gestores brasileiros. É inaceitável que a produção intelectual financiada com recursos do povo brasileiro esteja hospedada nas nuvens da Microsoft, da Amazon ou do Google, sujeita a leis estrangeiras e às exigências da Cloud Act.

A criação de infraestruturas de treinamento de IA exige recursos computacio-

nais de grande escala, com GPUs em quantidade e qualidade suficientes para treinar modelos competitivos. Isso implica investimento público direto, seja na aquisição de *hardware*, seja no desenvolvimento de *chips* nacionais. O Brasil possui conhecimento técnico e humano para avançar nessa direção, mas falta a decisão política de priorizar esses investimentos em detrimento de uma visão de curto prazo que prefere terceirizar a infraestrutura tecnológica para empresas estrangeiras.

É preciso apostar no futuro, e não apenas em replicar as tecnologias desenvolvidas pelos atuais líderes do mercado de IA. A janela para posições diferenciadas se abre exatamente nas áreas em que o campo ainda não está completamente ocupado: computação quântica, *neuromorphic computing*, modelos de IA de baixo custo energético, arquiteturas de redes neurais mais eficientes.

Pesquisar e desenvolver soluções de baixo impacto ambiental é não apenas uma responsabilidade ecológica, mas também uma vantagem estratégica potencial para um país com a matriz energética renovável do Brasil. O treinamento do GPT-3 da OpenAI consumiu 1.287 MWh de eletricidade e emitiu mais de 550 toneladas de dióxido de carbono. A demanda energética dos grandes modelos de linguagem de última geração é ainda mais colossal. Um país com a abundância de energia limpa do Brasil pode liderar a pesquisa em arquiteturas de IA energeticamente eficientes,



convertendo uma necessidade ecológica em vantagem competitiva.

A questão dos novos materiais também merece atenção: o silício está chegando aos seus limites físicos para a fabricação de transistores. Os próximos saltos na computação dependem de novos materiais – nitreto de gálio, carbeto de silício, grafeno – cujo desenvolvimento está hoje concentrado em laboratórios do Hemisfério Norte. O Brasil, com suas universidades de pesquisa e com a diversidade de seus recursos naturais, tem condições de contribuir para essa fronteira científica, desde que haja vontade política de investir em ciência básica de longo prazo.

## Uma questão de segurança nacional

Uma das questões mais urgentes e mais subvalorizadas no debate brasileiro sobre segurança digital é o destino dos dados produzidos pela administração pública. A construção de *data centers* federados para manter os dados das universidades sob controle dos pesquisadores é uma questão de segurança nacional de primeira ordem. O mesmo vale para os dados do governo federal: é necessário criar regramento que mantenha os insumos fundamentais da IA sob controle nacional. Uma empresa nacional de tecnologia da informação, devidamente capitalizada, precisa ser criada com urgência para oferecer infraestrutura soberana para os sistemas críticos do Estado brasileiro.

É inaceitável e perigoso que a Palantir tenha participação na administração pública brasileira. Fundada com capital da CIA e com um histórico de contratos com serviços de inteligência e forças armadas de múltiplos países, a empresa oferece plataformas de fusão e análise de dados que permitem cruzar inúmeras bases de dados governamentais para gerar perfis detalhados de populações. Que uma empresa com esses antecedentes e com essas conexões tenha acesso aos dados governamentais brasileiros representa um risco real para a soberania nacional e para os direitos dos cidadãos. É necessário romper com esse modelo sem hesitação.

Além disso, a soberania digital não se resolve com a mera localização física de dados no território brasileiro. Como mencionado, a Cloud Act, aprovada em 2018, permite ao governo dos EUA exigir acesso a dados das empresas do país, independentemente de onde estejam fisicamente localizados. Um servidor da Amazon em São Paulo está sujeito à mesma obrigação legal que um servidor da Amazon na Virgínia. A localização geográfica resolve o problema da latência, não da soberania.

A soberania digital real exige que os dados estejam sob controle jurídico, técnico e operacional de organizações brasileiras não sujeitas a legislações estrangeiras, que os sistemas que processam esses dados sejam desenvolvidos ou auditados por equipes brasileiras e que os algoritmos que tomam decisões com base nesses dados





*Soberania digital abrange controle brasileiro sobre dados e desenvolvimento próprio de sistemas.*

sejam transparentes e explicáveis para os cidadãos afetados por elas. Isso requer uma política industrial de tecnologia da informação, uma política científica e de inovação robusta, uma política de formação de recursos humanos de alto nível e uma vontade política que ainda não emergiu com a consistência necessária.

A soberania digital também passa pela construção de capacidade cibernética defensiva. Em um mundo em que infraestruturas críticas – sistemas elétricos, redes de água, sistemas financeiros, sistemas de saúde – estão cada vez mais digitalizadas, a vulnerabilidade a ataques cibernéticos é um risco existencial. O Brasil precisa investir massivamente em segurança cibernética, em formação de especialistas, em

pesquisa sobre criptografia pós-quântica, em proteção de infraestruturas críticas e em capacidade de detecção e resposta a incidentes. Sem isso, toda conversa sobre soberania digital fica no plano das intenções.

### **Cultura, entretenimento e cosm visões**

A soberania digital não se limita à dimensão técnica e econômica. Ela possui uma dimensão simbólica e cultural que é igualmente estratégica. As plataformas de entretenimento – Netflix, YouTube, Spotify, TikTok – não são apenas negócios. São maquinarias de produção de subjetividade, de modelagem de gostos, de distribuição de cosm visões, de conformação de identidades culturais. O domínio dessas



plataformas por corporações americanas e, em menor escala, chinesas, implica a subordinação da imaginação coletiva de nossos povos a narrativas, estéticas e valores produzidos fora de nossos contextos.

O Brasil e os países de língua espanhola da América Latina possuem um patrimônio cultural de extraordinária riqueza e diversidade. A música, o cinema, a literatura, as tradições orais e as novas formas de expressão digital da região têm um poder criativo e uma autenticidade que o mundo reconhece e consome, mas que frequen-

**É inaceitável que a produção intelectual financiada com recursos do povo brasileiro esteja hospedada nas nuvens das *big techs*, sujeita a leis estrangeiras.**

temente são mediados, filtrados e monetizados por plataformas estrangeiras que capturam a maior parte do valor gerado. É estratégico e urgente apostar no financiamento e na organização de projetos de entretenimento que envolvam o Brasil e os países de língua espanhola, criando redes de produção e distribuição de conteúdo cultural que escapem ao controle das plataformas dominadas pela extrema direita estadunidense. É inadmissível não apostar no financiamento de soluções inventi-

vas que assegurem cosmovisões, memória e identidades próprias.

Tal aposta é também uma questão econômica, tendo em vista ser a indústria criativa latino-americana um mercado bilionário cujos frutos são sistematicamente capturados por plataformas estrangeiras. É ainda uma questão política: quem controla as narrativas que circulam nas redes sociais e nas plataformas de entretenimento tem influência sobre opiniões, comportamentos eleitorais e sobre a própria coesão social. A desinformação e as operações de manipulação da opinião pública observadas nos últimos anos dependem, em larga medida, das infraestruturas das plataformas dos Estados Unidos. Construir alternativas a elas, ou ao menos reduzir essa dependência, é um ato de higiene democrática e de soberania cultural.

### Um imperativo histórico

A conjuntura mundial em 2026 coloca o Brasil e a América Latina como um todo diante de uma encruzilhada histórica. A dissolução da ordem multilateral, a ascensão de doutrinas neocolonialistas explícitas, a intensificação da guerra dos *chips* e dos dados, a fusão entre corporações tecnológicas e aparatos militares criam um cenário de alta tensão. Nele, vive-se o risco de permanecermos na condição de colônias digitais, fornecedoras de dados e consumidoras de tecnologia, sem capacidade de inventar, de decidir e de controlar o próprio destino tecnológico. Entretanto, é pos-



sível aproveitar a janela de reorganização do sistema internacional para construir, com urgência e determinação, as bases de uma autonomia tecnológica efetiva.

Essa construção é um projeto de Estado, de longo prazo, que exige consistência de políticas públicas. Mas precisa começar agora, com as decisões que estão ao alcance do presente: denunciar os contratos com a Palantir e iniciar a construção de infraestruturas nacionais alternativas; criar um fundo soberano para o desenvolvimento de *chips* e infraestruturas de IA; estabelecer uma política nacional de dados que defina com clareza o perímetro de soberania informacional do Estado brasileiro; investir em *data centers* federados para as universidades públicas; construir alianças tecnológicas concretas com China, Índia, Malásia e outros países do Sul Global; apostar nas indústrias criativas

como eixo de uma política de *soft power* e de soberania cultural.

Não há soberania nacional sem soberania digital. Essa não é uma equação do futuro. É um enfrentamento do presente. O Brasil precisa agir com a velocidade e a determinação que o momento exige. Negligenciar a soberania digital e de dados implica não apenas uma perda de oportunidade econômica, mas também o enfraquecimento da autodeterminação como nação.

Não é aceitável exportar dados como antes se fazia com minérios: sem controle, beneficiamento ou retorno proporcional à riqueza entregue. A diferença agora é que são entregues os dados da população, da cultura e da inteligência coletiva acumulada. Em contraposição a essa situação subalterna e vulnerável, há condições de optar pelo caminho da independência tecnológica e da tecnodiversidade.

ASCOM IRIS



Laboratório de Inovação do Governo do Ceará.



## Em síntese



- No século XXI, soberania passa necessariamente pelo controle de dados e tecnologias digitais.
- O Brasil hoje ocupa posição de dependência, baseada no uso de infraestruturas estrangeiras.
- Dados, algoritmos e poder computacional são os novos recursos estratégicos.
- Desenvolver capacidade nacional em inteligência artificial e tecnologias críticas.
- Implantar infraestrutura própria de dados, com controle público e soberano.
- Reduzir a dependência de *big techs* em áreas estratégicas do Estado.
- Avançar na regulação de plataformas e sistemas algorítmicos.
- Criar política industrial para semicondutores e tecnologias digitais.
- Estabelecer alianças com países do Sul Global para desenvolvimento tecnológico conjunto.
- Investir em segurança cibernética como questão de defesa nacional.
- Fortalecer a produção cultural e informacional própria no ambiente digital.
- Compreender a autonomia digital como condição para o desenvolvimento e a democracia.

## Referências

- BAJWA, Arsheeya. Palantir CEO defends surveillance tech as US government contracts boost sales. Reuters, February 2, 2026. Disponível em: <https://www.reuters.com/world/europe/palantir-ceo-defends-surveillance-tech-us-government-contracts-boost-sales-2026-02-02/>.
- BASSETS, Marc; RIZZI, Andrea. EE UU impone las condiciones de Trump para mantener con vida la relación con Europa. El País, February 14 2026. Disponível em: <https://elpais.com/internacional/2026-02-14/ee-uu-impone-las-condiciones-de-trump-para-mantener-con-vida-la-relacion-con-europa.html>.
- CARDOSO, Fernando Henrique; FALETTI, Enzo. Dependência e desenvolvimento na América Latina: Ensaio de interpretação sociológica. Quarta Edição. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.
- FISCHER, Camille. The Cloud Act: A Dangerous Expansion of Police Snooping on Cross-Border Data. Electronic Frontier Foundation, February 8, 2018. Disponível em: <https://www EFF.org/deeplinks/2018/02/cloud-act-dangerous-expansion-police-snooping-cross-border-data>.
- NEROZZI, Diana; KINE, Phelim. Trump's ultimatum for Latin America: It's me or Xi. Politico, February 19 2026. Disponível em: <https://www.politico.com/news/2026/02/19/to-understand-the-donroe-doctrine-look-at-china-00789715>.
- PASQUINELLI, Matteo; JOLER, Vladan. The Nooscope manifested: AI as instrument of knowledge extractivism. AI & society, v. 36, n. 4, 2021, pp. 1.263-1.280.
- SILVEIRA, Sérgio Amadeu. Neocolonialismo ou imperialismo de dados? As novas veias abertas da América Latina?. Conocimiento, poder y transformación digital en América Latina. Iberoamericana: Vervuert, 2024, pp. 61-73.
- SILVEIRA, Sérgio Amadeu; AVELINO, Rodolfo da Silva. Inteligência artificial, *data centers* e localização de dados: disputas pelo controle de insumos do aprendizado de máquina. In: Estudos Sociopolíticos da Inteligência Artificial / Sylvia Iasulaitis; Sérgio Amadeu da Silveira (orgs.). Camoinda Grande: EDUEPB, 2025.
- SILVEIRA, Sérgio Amadeu. As *big techs* e a guerra total: o complexo militar-industrial-dataficado. Hedra, 2025.





PARTE 3

# Valorização e protagonismo da engenharia



# Formação em engenharia: do encantamento precoce à aprendizagem ao longo da vida



ACERVO PESSOAL



Roseli de Deus Lopes

Professora titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP), coordenadora-geral da Feira Brasileira de Ciências e Engenharia (Febrace) e diretora do Instituto de Estudos Avançados (IEA) da instituição



**A** engenharia é uma forma de ler o mundo e, sobretudo, de transformá-lo: projeta, constrói, opera e melhora sistemas que sustentam a vida cotidiana, da água tratada e do saneamento às redes digitais, da agricultura de precisão à indústria verde, da infraestrutura urbana à tecnologia aeronáutica e aeroespacial. Por isso, quando o País discute um novo ciclo industrial e uma trajetória de desenvolvimento sustentável, a conversa inevitavelmente passa pela formação de engenheiras e engenheiros: quantidade, qualidade e diversidade.

A literatura internacional tem mostrado, com diferentes metodologias e bases de dados, que existe uma ligação relevante entre a capacidade de engenharia de um país e seu desenvolvimento econômico e social. Um exemplo é o estudo encomendado pela Royal Academy of Engineering, que construiu um “*Engineering Index*” para comparar a “força” da engenharia em 99 países e realizou análises econométricas para examinar a relação entre capacidade de engenharia e desenvolvimento.

Além disso, a própria agenda global de sustentabilidade explicitou que os desafios contemporâneos – clima, energia, cidades, saúde, produção e consumo – dependem de soluções tecnológicas responsáveis. O Segundo Relatório de Engenharia, publicado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) e parceiros, reforça o papel decisivo da área para responder às exigências da Agenda 2030 e cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Quando se fala em “elevada qualidade” da formação em engenharia, não se tra-

ta apenas de domínio técnico, mas também de formar profissionais capazes de observar necessidades reais, modelar fenômenos, conceber e implementar soluções viáveis, avaliar impactos e aprender continuamente, sempre em diálogo com a ciência, a sociedade e o mundo do trabalho. Esse ponto é decisivo porque, em economia do desenvolvimento, há evidências de que não basta expandir “anos de escolaridade”: a qualidade do que se aprende (competências cognitivas e capacidade de aplicar conhecimento) se associa de modo mais forte ao crescimento de longo prazo.

Olhando-se especificamente para engenharia e inovação, trabalhos históricos e comparativos apontam que a densidade de engenheiros e indicadores de capacidade inovativa se associam a diferenças de renda observadas no presente, inclusive em comparações entre regiões e países das Américas.

No Brasil, esse debate é urgente e concreto. O Censo da Educação Superior 2023, sistematizado em análise do Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo



(Seesp) a partir de dados do Ministério da Educação, registra 95.607 concluintes em engenharias em 2023 – número inferior ao de 2022 (97.672) e distante do patamar de 2018 (128.871). O mesmo documento evidencia um desafio que não é apenas quantitativo: a profissão ainda é majoritariamente masculina (73% dos concluintes) e enfrenta assimetrias de raça/cor na formação, o que significa que estamos desperdiçando talentos e perspectivas essenciais para enfrentar problemas complexos e diversos. Em um país com necessidades estruturais históricas – infraestrutura, água e saneamento, transição energética, adaptação climática, segurança digital, produtividade industrial e agrícola –, formar menos engenheiros e com baixa diversidade é uma contradição que custa caro.

### Alfabetização para o mundo contemporâneo

Se o objetivo é “formar mais e melhores”, o ponto de partida é anterior à universidade. A educação tecnológica precisa começar como alfabetização para o mundo contemporâneo, e não como treinamento instrumental para operar dispositivos. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) já reconhece que a cultura digital transforma práticas sociais e impõe desafios à escola, que deve estimular reflexão crítica, análise aprofundada e usos democráticos das tecnologias. Isso é coerente com a ideia de que tecnologia é linguagem: aprende-se

tecnologia criando, testando, errando e refinando – do mesmo modo que se aprende ciência fazendo perguntas e investigando.

Nesse sentido, o Complemento à BNCC sobre Computação é um marco importante porque explicita competências que aproximam a escola do pensamento de engenharia: compreender a computação como área de conhecimento; analisar impactos sociais, ambientais, culturais e éticos; e desenvolver projetos baseados em problemas, desafios e oportunidades sig-

### A educação tecnológica precisa começar como alfabetização para o mundo contemporâneo, e não como treinamento instrumental para operar dispositivos.

nificativas ao contexto do estudante, com princípios “éticos, democráticos, sustentáveis e solidários”. Ao colocar projetos e pensamento computacional no centro, o documento desloca a discussão do “uso de aplicativos” para a formação de repertório para projetar soluções, o que é uma ponte direta para a engenharia, para a inovação e para a autonomia digital.

Mas documentos normativos não transformam a escola sozinhos. O encantamento precoce pela engenharia nasce quando crianças e jovens vivem experi-



ências em que a curiosidade é valorizada, e a pergunta é tratada como motor do conhecimento. O que se vê, ano após ano, no ambiente de feiras e projetos: quando estudantes se sentem autorizados a investigar algo que importa para sua comunidade, a motivação se torna aprendizado, e este vira autonomia. A Feira Brasileira de Ciências e Engenharia (Febrace) é uma dessas portas de entrada, ao mobilizar projetos de ciência e engenharia de estudantes de todo o País e ao reforçar a aprendizagem como construção, não como repetição. O que funciona nesses contextos é relativamente simples de enunciar e desafiador de implementar em escala: tempo pedagógico para projetos, infraestrutura mínima para experimentação (inclusive “desplugada”), formação de docente e redes de apoio entre escolas, universidades, institutos e empresas.

Do ensino médio para a educação superior, o desafio é evitar o “funil” que exclui por falta de base em matemática, ciências e linguagem e por ausência de sentido. O País tem avançado no debate sobre educação profissional e tecnológica, com mudanças na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e a instituição de uma política nacional para integrar e fortalecer essa modalidade. Essa agenda é estratégica para aproximar jovens de experiências práticas e itinerários formativos, mas ela precisa dialogar com a ideia de continuidade: educação tecnológica de qualidade não é “atalho”, é

percurso; e a engenharia, como profissão regulada e de alto impacto público, exige bases sólidas e ética profissional.

## Diretrizes a seguir para a transformação

Na graduação o Brasil já tem um norte claro: as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) de Engenharia (Resolução CNE/CES nº 2/2019) reposicionam o curso para uma formação por competências. O perfil do egresso previsto nas DCNs inclui visão holística e humanista, atuação inovadora, capacidade de formular e resolver problemas, consideração de aspectos sociais e ambientais e compromisso com responsabilidade social e desenvolvimento sustentável. Mais do que um texto inspirador, as DCNs detalham condições de implementação: exigem projeto pedagógico alinhado às competências, atividades de laboratório, estímulo a práticas que articulem teoria, prática e contexto, integração empresa-escola e, de forma explícita, o uso de metodologias de aprendizagem ativa desde o início do curso. Também orientam que o curso preveja acolhimento e nivelamento para reduzir retenção e evasão, reconhecendo a heterogeneidade da formação de entrada.

O desafio, portanto, não é “ter diretrizes”, mas transformar cultura pedagógica, infraestrutura acadêmica e gestão da aprendizagem. O Documento de Apoio à Implantação das DCNs é especialmente útil porque traduz as diretrizes em orienta-



ções práticas e sustenta a necessidade de mudança com evidências e exemplos. Ele enfatiza o foco em competências, o aprendizado baseado em projetos e a interlocução com sociedade e mercado, e destaca um ponto frequentemente subestimado: não há transformação curricular sem desenvolvimento docente.

Aqui vale trazer uma evidência robusta da pesquisa em educação superior: a meta-análise publicada na Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) por Freeman e colaboradores, com centenas de estudos em STEM, mostra que a aprendizagem ativa melhora o desempenho em exames e que taxas de reprovação são significativamente maiores em aulas baseadas apenas em exposição tradicional (no conjunto analisado, 21,8% de reprovação em aprendizagem ativa *versus* 33,8% em aulas tradicionais). Em outras palavras, há base empírica para afirmar que metodologias centradas no estudante, quando bem desenhadas, avaliadas e sustentadas por infraestrutura e formação docente, não são “modismo”; são uma estratégia de qualidade, permanência e equidade. Para a engenharia brasileira, isso significa que modernizar a graduação é também uma política de redução de evasão, de melhor aproveitamento do investimento público e privado e de aumento do número de formados sem sacrificar rigor.

Qualidade, entretanto, não se resume a método. Inclui laboratórios que funcionem, projetos integradores conectados a

problemas reais, iniciação científica e tecnológica, extensão com sentido público, estágios supervisionados com acompanhamento efetivo e avaliação por competências que retroalimente o curso. Inclui também uma pergunta incômoda, mas necessária: como garantir padrões mínimos de qualidade em um sistema muito desigual entre instituições e regiões? O debate sobre avaliação, acreditação e melhoria contínua precisa ser retomado com seriedade e transparência para que “expansão” não vire sinônimo de precarização formativa.

Esse ponto conecta-se a uma preocupação antiga da indústria e do desenvolvimento nacional. O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (Iedi), em estudo sobre a formação de engenheiros no Brasil, registra o papel fundamental desses profissionais no desenvolvimento tecnológico, na melhoria contínua de produtos e processos e nas atividades de PD&I (pesquisa, desenvolvimento e inovação). O mesmo documento alerta, com razão, que iniciativas de treinamento no local de trabalho são valiosas, mas não resolvem sozinhas o problema estrutural de formação. Isso porque a base conceitual, a capacidade de modelar e o repertório de projeto não se improvisam. É justamente essa base que permite que uma agenda de indústria verde, de reindustrialização com inovação, de infraestrutura resiliente e de segurança digital avance com autonomia, e não apenas por importação de soluções.



## Acompanhando a fronteira

E mesmo quando a graduação melhora, o ciclo não se fecha se a aprendizagem parar no diploma. A engenharia é, por natureza, profissão de fronteira: novos materiais, bioprocessos, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), automação, energias renováveis, cibersegurança, sistemas complexos. A atualização constante não é “diferencial”; é requisito ético e técnico. Além disso, a demanda por qualificação no País é massiva: o Mapa do Trabalho Industrial 2025-2027 estima a necessidade de qualificar 14 milhões de pessoas para ocupações industriais, sendo 2,2 milhões em formação inicial e 11,8 milhões em aperfeiçoamento e requalificação. Esse dado reforça que educação continuada deve ser tratada como política de produtividade e inclusão, com modelos flexíveis

(microcredenciais, especializações modulares, cursos híbridos), mas com garantia de qualidade, avaliação e reconhecimento.

Ao longo da vida, aprender não é apenas acompanhar tecnologia; é requalificar o olhar sobre impacto. A engenharia que o Brasil precisa para crescer e, ao mesmo tempo, reduzir desigualdades e proteger o ambiente é aquela que internaliza sustentabilidade como critério de projeto: eficiência energética, redução de emissões, economia circular, segurança hídrica, cidades mais justas, tecnologias assistivas, governança de dados e segurança cibernética. O Relatório de Engenharia da Unesco chama atenção para a urgência de ações coordenadas entre governos, indústria, universidades e a profissão para ampliar o número de engenheiros e sustentar competências profissionais contínuas orientadas às metas de desenvolvimento sustentável. Não

DIVULGAÇÃO UERJ



*Futuras cientistas: projeto da Universidade Estadual do Rio de Janeiro estimula o interesse e a inclusão de mulheres e meninas na ciência.*



se trata de acrescentar um “capítulo verde” ao currículo: trata-se de reorientar problemas, métricas e responsabilidades.

“Encantar desde cedo” e “aprender sempre” não são *slogans*, mas partes de uma mesma estratégia de desenvolvimento. Encantar desde cedo significa oferecer experiências em que ciência, matemática, computação, engenharia e tecnologia façam sentido para crianças e jovens. Isso exige professores valorizados, escola com

infraestrutura mínima e redes de colaboração que aproximem universidade e educação básica. Aprender sempre significa que empresas, instituições de ensino, sistemas profissionais e Estado reconheçam a educação continuada como parte da arquitetura produtiva do País, com caminhos acessíveis e de qualidade para atualização e transição de carreira.

Se há uma síntese possível, é esta: países que tratam engenharia como um ati-

## Em síntese



- A engenharia é central para o desenvolvimento, e sua formação precisa acompanhar esse papel estratégico.
- O Brasil enfrenta um duplo desafio: formar mais engenheiros e com mais qualidade e diversidade.
- A base começa antes da universidade: é preciso tratar tecnologia como linguagem desde a educação básica.
- Estimular o “encantamento precoce” com ciência e engenharia por meio de projetos, experimentação e resolução de problemas reais.
- Implementar de fato a BNCC e o ensino de computação com foco em pensamento crítico e criação, não apenas uso de ferramentas.
- Fortalecer a conexão entre escola, universidades, institutos de pesquisa e empresas.
- Reduzir o “funil” da formação, com apoio em matemática, ciências e linguagem para evitar evasão.
- Consolidar a aplicação das Diretrizes Curriculares de Engenharia, com foco em competências e aprendizagem ativa.
- Investir em formação docente e infraestrutura, sem o que não há mudança real na qualidade.
- Ampliar metodologias baseadas em projetos e integração entre teoria, prática e contexto.
- Garantir padrões mínimos de qualidade em um sistema ainda muito desigual entre instituições.
- Tratar a educação continuada como política estratégica, com requalificação ao longo da vida.
- Formar engenheiros capazes de inovar com responsabilidade social e ambiental, alinhados aos desafios do século XXI.



vo estratégico – formando com qualidade, valorizando diversidade, articulando escola, universidade e trabalho, e sustentando aprendizagem ao longo da vida – colhem resultados em produtividade, inovação, infraestrutura e qualidade de vida. O Brasil tem referências normativas, instituições e experiências bem-sucedidas; falta transformar isso em política persistente, com metas públicas, financiamento adequado, avaliação inteligente e compromisso coletivo com a qualidade. A engenharia pode – e deve – ser uma alavanca para o novo ciclo industrial e para um desenvolvimento socioambientalmente justo.

DIVULGAÇÃO INSPER



*Engenheiras do Iniper: formação é central ao desenvolvimento.*

## Referências

- ABENGE; CNI; SESI; SENAI; IEL; CNE; CONFEA. Documento de apoio à implantação das DCNs do curso de graduação em Engenharia. Brasília: CNI, 2020.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União, 26 abr. 2019.
- BRASIL. Lei nº 14.645, de 2 de agosto de 2023. Altera a LDB para dispor sobre a educação profissional e tecnológica e institui diretrizes para a Política Nacional de Educação Profissional e Tecnológica.
- BRASIL. Decreto nº 12.603, de 28 de agosto de 2025. Institui a Política Nacional de Educação Profissional e Tecnológica (PNEPT) e o Sistema Nacional de Avaliação da Educação Profissional e Tecnológica (Sinaept).
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Brasília: MEC, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. Computação na Educação Básica – Complemento à BNCC. Brasília: MEC/CNE, 2022.
- FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 2014. IEDI. A formação de engenheiros no Brasil: desafio ao crescimento e à inovação. São Paulo: Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2010.
- OBSERVATÓRIO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Mapa do Trabalho Industrial 2025-2027. Brasília: CNI, 2024.
- Seesp. Censo da Educação Superior 2023 – Engenharias (análise com base em dados do Inep/MEC). São Paulo: Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo, 2024.
- UNESCO et al. Engenharia para o desenvolvimento sustentável: cumprir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Segundo Relatório de Engenharia; versão em português), 2021 (ed./difusão em português: 2024).
- UK ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING; CEBR. Engineering and economic growth: a global view. Londres: RAEng, 2016.



# Engenharia: uma carreira de Estado para garantir o futuro do Brasil



ACERVO PESSOAL



Antônio A. de Queiroz

Consultor e analista político, é especialista em instituições políticas e processo legislativo e mestre em políticas públicas e governo. Foi diretor de documentação do Departamento Intersindical de Assessoria Parlamentar (Diap)



**Q**uando um país planeja seu futuro, seja na construção de rodovias, na expansão da rede de saneamento, na geração de energia, na regulação de setores econômicos de infraestrutura ou na segurança de barragens, há um profissional cuja assinatura e responsabilidade técnica são indispensáveis: o engenheiro. No Brasil, mais de 1,2 milhão de profissionais das áreas de engenharia, agronomia e geociências estão habilitados a exercer essas funções.

Destes, aproximadamente 130 mil dedicam suas carreiras ao serviço público, espalhados por mais de 4 mil municípios, atuando em administrações diretas, autarquias, fundações e empresas estatais.

A presença do engenheiro no Estado não é um detalhe burocrático. Estima-se que cerca de 60% das ações estruturantes do Plano Plurianual (PPA) envolvem diretamente atividades sob a responsabilidade desses profissionais. Da concepção de um projeto habitacional à fiscalização de uma obra de mobilidade urbana, a mão técnica da engenharia é o que garante que o dinheiro público seja convertido em obras seguras, duráveis e eficientes.

No entanto, apesar dessa essencialidade, o Brasil ainda não reconhece, de forma explícita e estruturada, a engenharia pública como uma carreira típica de Estado ou suas atividades como exclusivas de Estado, quando relativas às políticas públicas e ao exercício de poder de polícia. É essa lacuna que o Projeto de Lei nº 1.269, de março de 2023, de autoria do senador Jaime Bagattoli (PL/RO), busca corrigir ao incluir um parágrafo no

artigo 1º da Lei nº 5.194/1966 (que regula o exercício profissional).

## O que são carreiras de Estado

O conceito de “atividades exclusivas de Estado” foi introduzido na Constituição Federal pela Emenda Constitucional nº 19/1998, que inclui no texto o art. 247. A ideia é proteger funções que são inerentes ao poder estatal e que não podem ser delegadas ao setor privado, garantindo aos seus ocupantes estabilidade e autonomia para que possam exercer suas atribuições com imparcialidade, livres de interferências políticas ou econômicas. São clássicos exemplos as carreiras da diplomacia, da magistratura, do Ministério Público e da fiscalização tributária, assim como todas as que exercem o poder de polícia administrativa.

A engenharia pública se enquadra perfeitamente nesse conceito por diversos motivos:

- 1) *Exercício do poder de polícia e regulação* – Engenheiros públicos fiscalizam obras, interditam construções irregulares, aprovam projetos, concedem licenças e atestam a segurança de barragens e edificações. Essas atividades



envolvem o poder de limitar direitos individuais em prol da coletividade, um atributo exclusivo do Estado.

2) *Indelegabilidade e soberania* – O planejamento e a fiscalização de infraestruturas críticas, como hidrelétricas, portos, aeroportos e sistemas de defesa, não podem ser totalmente transferidos para a iniciativa privada sem que o Estado perca a capacidade de garantir o interesse público e a soberania nacional. É o Estado que deve responder, em última instância, pela segurança de uma barragem ou pela qualidade da água distribuída à população, ou mesmo pela integridade estrutural de obras e edificações que dependam de licenciamento público.

3) *Responsabilidade técnica e ética* – A atuação do engenheiro no setor público é regida pela Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), que vincula o profissional pessoal, civil e criminalmente à obra ou serviço. Para assumir tamanha responsabilidade, é imprescindível que o profissional tenha respaldo institucional e independência técnica, protegido contra pressões para “apressar” uma licença ou “ignorar” uma irregularidade.

Como bem definiu o ex-ministro do Supremo Tribunal Federal (STF) Francisco Rezek, em entrevista à Federação Nacional dos Engenheiros (FNE) em 2013:

“Não há a menor dúvida de que o serviço público só teria a ganhar com a construção de carreiras de Estado outras que

aquelas que tradicionalmente já existem, como militar, diplomática, do Fisco. [...] Em algumas sociedades muito evoluídas, como as dos países escandinavos, já temos carreiras de Estado no domínio da engenharia, da medicina. Ou seja, nas funções exigentes de nível universitário e nas quais é indispensável atuação do Estado.”

## Um precedente de sucesso

Um dos argumentos mais sólidos para a aprovação do PL 1.269/2023 é a existência, no âmbito do governo federal, de uma carreira que, na prática, já exerce as funções típicas de Estado para a engenharia, embora não seja formalmente reconhecida como tal. Trata-se da carreira de analista de infraestrutura, criada pela Lei nº 11.539, de 8 de novembro de 2007. Essa legislação estrutura um quadro de servidores de alto nível, concursados e com formação superior (predominantemente engenheiros), para atuar nos projetos mais estratégicos do País. Suas principais características são:

- **Ingresso rigoroso:** exige concurso público composto por provas e curso de formação.
- **Alta complexidade:** as atribuições envolvem planejamento, coordenação, fiscalização e execução de projetos e obras de grande porte.
- **Atuação estratégica:** os analistas são lotados em ministérios e órgãos vitais, com responsabilidades em setores estratégicos como infraestrutura viária, saneamento, energia, comunicações, desenvolvimento regional e urbano.



Essa carreira é a espinha dorsal técnica dos grandes investimentos federais. São esses engenheiros que analisam a viabilidade de uma nova ferrovia, fiscalizam a concessão de uma rodovia, acompanham a construção de uma usina ou garantem a qualidade dos projetos de saneamento básico que levam saúde à população. É importante notar que o governo federal já reconhece, através da remuneração e da estruturação dessa carreira, a necessidade de um corpo técnico especializado e estável.

Entretanto, essa é uma realidade restrita ao Executivo Federal. Estados e municípios, onde se encontra a maioria dos 130 mil engenheiros públicos, carecem de estrutura semelhante, ficando à mercê de uma fragmentação de cargos e salários, sem a garantia de uma carreira que estimule o aperfeiçoamento e a permanência do profissional.

## Fragilidade atual e lições dos desastres

A ausência de uma carreira de Estado estruturada tem consequências práticas e, por vezes, trágicas. A fragilidade dos órgãos públicos, a perda constante de memória institucional (com a alta rotatividade de cargos comissionados) e a falta de concursos públicos para reposição de quadros criam um ambiente propício para falhas.

O Brasil aprendeu da pior maneira possível o custo da falta de fiscalização técnica contínua e independente. Os trágicos desastres de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), que ceifaram centenas de vidas e causaram danos ambientais incalculá-

veis, expuseram as graves consequências da fragilidade estrutural dos órgãos fiscalizadores. Mais recentemente, o colapso da Ponte Juscelino Kubitschek de Oliveira, que cruzava o Rio Tocantins como parte das rodovias BR-226 e BR-010 e ligava os municípios de Estreito (Maranhão) e Aguiarnópolis (Tocantins), escancarou a deficiência na manutenção e no monitoramento da nossa infraestrutura.

## O Brasil aprendeu da pior maneira possível o custo da falta de fiscalização técnica contínua e independente, com os trágicos desastres de Mariana e Brumadinho.

Em todos esses casos, a ausência de um corpo técnico público robusto, com autonomia e estabilidade para exigir o cumprimento das normas, foi apontada como um fator agravante. Engenheiros públicos fragilizados, pressionados ou em número insuficiente não conseguem exercer plenamente seu dever de fiscalização. A criação da carreira de Estado é, portanto, uma medida de preservação da vida e do patrimônio público e privado.

## O que muda com o PL 1.269/2023

É fundamental esclarecer o que o Projeto de Lei nº 1.269/2023 propõe e, principalmente, o que ele não propõe.



O PL tem um caráter declaratório. Ele não cria novos cargos, não aumenta despesas imediatas para a União, estados ou municípios e não institui um novo piso salarial. Sua redação é simples: visa incluir na lei que regula a profissão (nº 5.194/1966) o reconhecimento de que as atividades dos engenheiros, arquitetos e agrônomos ocupantes de cargos efetivos são atividades exclusivas de Estado.

Na prática, isso significa que esses servidores passam a ter a garantia especial prevista no art. 247 da Constituição Federal. Ou seja, não poderão ser dispensados imotivadamente e deverão contar com proteção especial contra a perda do cargo, seja por insuficiência de desempenho, seja por excesso de despesas. A perda do cargo só poderá ocorrer por meio de processo administrativo que garanta ampla defesa e mediante rigorosos critérios de avaliação de desempenho, da mesma forma que ocorre com procuradores, auditores-fiscais e delegados da Polícia Federal.

Ao equiparar a engenharia pública a essas carreiras do núcleo estratégico, o projeto assegura que o profissional técnico terá a independência necessária para exercer sua função com base única e exclusivamente na ciência, na técnica e na ética, sem receio de retaliações por parte de gestores ocasionais que possam ter interesses conflitantes com o bem público.

## Fundamentação

Do ponto de vista jurídico, o PL 1.269/2023 é plenamente compatível com a Constitui-

ção Federal. A Carta Magna, em seu artigo 22, inciso XVI, atribui à União a competência privativa para legislar sobre as condições de exercício das profissões, o que torna a proposta constitucional.

Além disso, o texto não define de forma taxativa quais são as carreiras de Estado, cabendo justamente ao Legislativo o poder de, por lei, reconhecer aquelas cujo desempenho envolva poder de decisão técnica, responsabilidade de fiscalização e controle de políticas públicas. A engenharia cumpre todos esses requisitos.

A proposta não fere a autonomia dos entes federativos (estados e municípios), pois se limita a caracterizar a atividade do profissional. Cada ente continuará livre para criar ou não seus cargos, realizar concursos e definir suas estruturas remuneratórias, mas, quando o fizer, o profissional ali investido estará amparado pelas garantias de uma carreira típica ou exclusiva de Estado.

## Um passo vital

A aprovação do PL 1.269/2023 representa um marco na luta pela valorização da engenharia brasileira. É uma bandeira histórica da FNE e de seus sindicatos filiados, que há anos alertam para os riscos da precarização do serviço público técnico.

Mais do que um projeto de lei, trata-se de um projeto de País. É a afirmação de que o Brasil precisa de um Estado planejador, fiscalizador e tecnicamente competente. A medida não é um fim em si, mas o primeiro e indispensável passo para, num futuro próximo, conquistar-se a criação



de carreiras específicas nos três níveis de governo, com remuneração adequada ao piso profissional e planos de cargos que estimulem o ingresso e a permanência dos melhores talentos.

Quando implantada, essa lei trará um duplo benefício: para os profissionais, que poderão vislumbrar uma trajetória estável e valorizada no serviço público; e para a sociedade brasileira, que passará a dispor de quadros técnicos imprescindíveis para

garantir que o desenvolvimento econômico e social ocorra com segurança, qualidade e respeito ao interesse público.

A engenharia pública é a garantia de que a ponte não cairá, a barragem será segura, a água será tratada e a cidade crescerá de forma ordenada. É hora de o Estado brasileiro reconhecer, formalmente, essa verdade e dar à engenharia o *status* que ela merece: o de uma carreira de Estado. O Brasil não pode mais esperar.

## Em síntese



- A engenharia é indispensável ao Estado: está na base de obras, infraestrutura, regulação e segurança pública.
- Grande parte das políticas públicas depende diretamente da atuação técnica de engenheiros.
- Apesar disso, o Brasil ainda não reconhece a engenharia pública como carreira típica de Estado.
- Esse reconhecimento é essencial para garantir autonomia técnica, estabilidade e proteção contra pressões políticas.
- Engenheiros públicos exercem funções indelegáveis, como fiscalização, licenciamento e controle de obras.
- A fragilidade atual dos quadros técnicos compromete a capacidade do Estado de planejar e fiscalizar.
- Desastres recentes, como Mariana e Brumadinho, evidenciam os riscos da ausência de estrutura técnica robusta e independente.
- Propõe-se o reconhecimento formal dessas funções como atividades exclusivas de Estado.
- O Projeto de Lei nº 1.269/2023 avança nesse sentido, sem gerar novos custos imediatos.
- A medida fortalece a responsabilidade técnica e a segurança institucional na execução de políticas públicas.
- É necessário ampliar e estruturar carreiras de engenharia nos três níveis de governo.
- Valorizar a engenharia pública é garantir obras seguras, serviços de qualidade e uso eficiente dos recursos públicos.
- Trata-se de fazer a escolha estratégica entre um Estado tecnicamente forte ou vulnerável a falhas e interesses circunstanciais.



# Valorização da engenharia e combate à precarização



Marcellie D. Giratola

*Engenheira ambiental e sanitária, é vice-presidente do Sindicato dos Engenheiros no Estado de São Paulo (Seesp) e diretora de Valorização Profissional do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de São Paulo (Crea-SP)*



Matheus Mansano

*Engenheiro civil, é diretor do Seesp e coordenador do Núcleo Jovem Engenheiro (NJE) da entidade*

FOTOS: ACERVOPESSOAIS



**A** engenharia exerce papel central no desenvolvimento econômico, tecnológico e social do Brasil, atuando em infraestrutura, inovação, produção industrial, energia e sustentabilidade. A qualidade das soluções técnicas depende diretamente da qualificação profissional e da estrutura de trabalho que garantam direitos, proteção social e condições de exercer o ofício de modo adequado.

Assim, é premente o resgate pleno da valorização da profissão, tendo em vista os riscos multidimensionais associados à possível violação de regras trabalhistas, que vão muito além de uma escolha contábil. Trata-se de evitar a fragilização de quadros e setores estratégicos à sustentabilidade tecnológica e econômica do Brasil no século XXI.

A pejotização caracteriza-se pela contratação de profissionais como pessoa jurídica (PJ) para desempenhar atividades que, na prática, têm natureza de vínculo empregatício – com subordinação, pessoalidade e continuidade –, mas sem os direitos previstos na Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) demonstra que o trabalho por conta própria (incluindo PJ), entre engenheiros e profissionais das geociências, cresceu de 13%, em 2014, para 24%, em 2023, enquanto a participação de trabalhadores sob regime celetista caiu de forma equivalente no período. O dado indica tendência à flexibilização das relações laborais na engenharia e áreas correlatas.

### Empregabilidade e formalização

Segundo o Minicenso Confea 2024, realizado a partir da amostra composta por 48 mil entrevistas, 92% dos profissionais das áreas de engenharia, agronomia e geociências estão empregados, e 78% deles atuam em sua área de formação. Esses dados destacam a empregabilidade da categoria, mas também revelam que somente 40% estão sob regime CLT e 11% no serviço público, totalizando 51% de vínculos formais.

Portanto, quase metade dos profissionais está inserida em formas de trabalho sem proteção plena da CLT, quer como PJ, autônomos ou sob outras modalidades flexíveis, fatores que impactam direitos trabalhistas, previdenciários e a sustentabilidade da carreira.

Trabalho intelectual instrumentalizado leva à transformação do profissional em um mero “prestador de serviços”, esvaziando o sentido da atividade técnica e desestimulando a criatividade devido à condição de subordinação econômica.

Não é difícil imaginar que as mulheres serão as primeiras a sentir o golpe em sua empregabilidade, uma vez que sem seguridade



social, regras claras sobre remuneração ou normas coletivas, a gestão pode significar um risco à saúde física e financeira.

## Impactos econômicos e previdenciários

A pejetização elimina garantias, como 13º salário, férias remuneradas, Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS), aviso prévio e estabilidade provisória. Isso reduz a renda líquida do profissional, que precisa absorver custos tributários e de contabilidade que, sob CLT, seriam arcados pelo empregador. Obviamente, há impactos negativos sobre consumo e qualidade de vida.

Ainda, a contratação como PJ tende a pressionar para baixo os honorários técnicos e os salários médios, criando competição indevida entre profissionais formalmente contratados e pejetizados. Em outros setores, como tecnologia, relatórios mostram que modelos de contratação por prestação de serviços correspondem a elevados índices de *freelancers*, com perda de direitos sociais e redução de custos para as empresas, padrão que tende a se replicar em áreas especializadas.

Os prejuízos, no entanto, não se limitam ao profissional submetido ao regime de pejetização. O avanço dessa cultura cria um cenário de risco sistêmico para o ecossistema de negócios, pois, ao focar na redução de custos imediatos, compromete os pilares que sustentam a inovação e a competitividade em longo prazo.

Levando a uma verdadeira erosão do conhecimento devido à alta rotatividade e à falta de vínculos duradouros, esse quadro impede a consolidação da memória técnica e o desenvolvimento de soluções de alta complexidade, que exigem tempo e continuidade. Além disso, o uso extensivo de formas atípicas de emprego está associado a um investimento limitado em inovação por parte das empresas.

**O avanço da pejetização cria um cenário de risco sistêmico, pois compromete os pilares que sustentam a inovação e a competitividade em longo prazo.**

Em suma, essa prática levará a organizações menos competitivas, tecnicamente limitadas e com equipes fragmentadas e sem cultura empresarial. Receita certa para o desastre em indústrias com projetos ambiciosos que almejam maiores retornos.

A prática da pejetização também compromete o reconhecimento técnico e institucional da engenharia, com efeitos como:

- descaracterização do cargo de engenheiro, quando atividades técnicas são oferecidas e remuneradas sem a devida formalização funcional;
- fragilização de atribuições legais e de responsabilidades técnicas, dificultando



- tando a identificação de quem responde tecnicamente por obras e projetos;
- redução da qualidade técnica percebida, em cenários onde direitos, tempo de dedicação e vínculos profissionais influenciam diretamente a profundidade do trabalho realizado.

Esses fatores contribuem para uma crise estrutural de reconhecimento e atração de jovens pela engenharia. Nesse cenário, estudantes do ensino médio dão preferência a profissões que garantam um melhor retorno no investimento da educação que tanto se esforçam para adquirir, o que é plenamente compreensível.

## Questões previdenciárias e trabalhistas

A migração para o regime PJ implica, em muitos casos, menor cobertura previdenciária contributiva. A ausência de contribuições regulares pelas empresas ao Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS) implica lacunas no histórico contributivo, resultando em aposentadorias com valores menores, prolongamento do tempo de trabalho para fazer jus ao benefício e ausência de seguro-desemprego e proteção contra acidentes de trabalho.

Esses impactos fragilizam a seguridade social e ameaçam a sustentação dos sistemas previdenciários públicos, que dependem de contribuições regulares de empregadores e empregados.

O crescimento da pejetização também tem sido refletido no Judiciário. Em 2024, a Justiça do Trabalho registrou mais de 285 mil processos pedindo reconhecimento de vínculo empregatício, um aumento de 57% em relação ao ano anterior.

Esse aumento de litígios evidencia a incerteza jurídica sobre essa modalidade e os conflitos que emergem quando profissionais buscam reconhecimento de direitos negados por meio de contratos de natureza formal diversa.

Escapando à questão puramente burocrática, vale o alerta de que não faltam riscos tributários para todos os envolvidos nesse novo mar de CNPJs, o que se configura como mais um grau de insegurança no já delicado castelo de cartas dos impostos no Brasil.

## Produtividade nacional em xeque

Com o advento de novas tecnologias e de maiores demandas impostas pela nova arena global de negócios, somadas às necessidades de adaptação à emergência climática, a capacidade de inovação e produção de soluções tecnicamente refinadas e ágeis só é possível com um corpo técnico capacitado, bem remunerado e com recursos para tomada de decisões.

Exemplo disso é a revolução no agro-negócio, capitaneada não pela misericórdia divina, mas pelo trabalho da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que, com um notável corpo técnico, elevou o patamar das culturas brasileiras.





ROSELY CABRAL/SEOP

*Valorização da engenharia está diretamente relacionada à qualidade de vida da população.*

É, portanto, necessário uma radical postura conjunta sobre a empregabilidade da mão de obra técnica brasileira, para que não se troquem décadas de prosperidade por alguns poucos trimestres de resultado financeiro acionário.

Nesse contexto, a precarização das relações de trabalho técnico representa não apenas um problema trabalhista, mas também um entrave estrutural ao desenvolvimento nacional. A substituição de víncu-

los formais por modelos contratuais frágeis compromete a continuidade de projetos, a retenção de talentos e a formação de lideranças técnicas capazes de conduzir soluções complexas e de longo prazo. Projetos estratégicos, especialmente nas áreas de infraestrutura, energia, mobilidade e sustentabilidade, exigem estabilidade institucional e valorização profissional para que se alcancem resultados consistentes e seguros.

A experiência internacional demonstra que países que alcançaram alto grau de competitividade tecnológica e industrial adotaram políticas claras de valorização de carreiras técnicas e científicas, com estruturas contratuais estáveis, remuneração compatível e reconhecimento institucional. Esses elementos criam ambientes favoráveis à inovação, à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento de soluções adaptadas às realidades locais. Quando tais condições não são asseguradas, ocorre o fenômeno da evasão de profissionais qualificados, que buscam oportunidades em mercados mais estruturados, gerando perda de capital humano estratégico.

No caso brasileiro, a instabilidade nas formas de contratação técnica pode produzir um ciclo regressivo: vínculos precários reduzem a atratividade da profissão, o que diminui o ingresso de novos talentos, diminuindo a capacidade de inovação e, conseqüentemente, impactando a produtividade nacional. Em médio e longo prazos, esse processo compromete a soberania



tecnológica e aumenta a dependência de soluções importadas, elevando custos e limitando a autonomia decisória do País em setores críticos.

Sob a perspectiva social, a valorização da engenharia está diretamente relacionada à qualidade de vida da população. Obras seguras, sistemas energéticos eficientes, cidades resilientes e soluções ambientais sustentáveis dependem de profissionais qualificados e devidamente reconhecidos. Assim, investir na formalização, na estabilidade e na valorização do trabalho técnico não é apenas uma pauta corporativa, mas também uma política pública de interesse coletivo.

Portanto, fortalecer a empregabilidade da mão de obra técnica brasileira deve ser compreendido como estratégia de Estado, e não apenas como pauta setorial. A construção de um ambiente que assegure direitos, estabilidade e reconhecimento aos engenheiros constitui condição essencial para que o Brasil amplie sua produtividade, enfrente desafios globais complexos e consolide um modelo de desenvolvimento sustentável, competitivo e socialmente justo.

## Diretrizes para enfrentamento

Para fortalecer o papel da engenharia e combater a precarização, propõem-se:

- 1) *Fortalecer a fiscalização de vínculos empregatícios* com critérios técnicos que identifiquem relações de trabalho disfarçadas de PJ quando configurarem vínculo subjacente.

- 2) *Valorizar o registro profissional* como elemento central de reconhecimento técnico, social e econômico.
- 3) *Promover políticas de formalização de trabalho técnico* que preservem direitos e estimulem carreira estruturada, tanto de engenheiros como de outros técnicos, tecnólogos que compõem as equipes ideais numa estrutura complexa.
- 4) *Estimular a educação continuada e a formação profissional de excelência*, valorizando a engenharia como pilar estratégico de desenvolvimento.
- 5) *Aprimorar a legislação trabalhista*, com normas claras sobre atividades estratégicas e responsabilidades técnicas.
- 6) *O engenheiro como carreira de Estado*: é necessário que as diversas esferas de governo possam apoiar suas decisões sobre uma visão técnica estruturada por engenheiros leais à pátria e não ao governo eleito.
- 7) *Estabelecer compromisso pétreo com a tecnologia e a indústria*: reforçar e ampliar programas de inovação e pesquisa, via investimento estatal focado na produção de patentes brasileiras.
- 8) *Programa de incentivo à industrialização*: não existe espaço no século XXI para uma economia, ainda que esteja entre as maiores do mundo, que pouco produz em valor agregado.

## Conclusão

A descaracterização do trabalho formal representa uma forma extensa de precari-



zação das relações de trabalho que fragiliza a proteção social, reduz direitos, afeta a remuneração real e compromete o reconhecimento formal da engenharia como profissão regulamentada. Os impactos econômicos, previdenciários, sociais e técnicos apontam para a necessidade de ação coordenada entre entidades profissionais, órgãos reguladores e poder público.

A garantia de direitos e o reforço das atribuições relacionadas ao registro profissional compõem parte de um plano nacional que supere as necessidades coletivas e individuais

dos profissionais das engenharias, represente um pacto de soberania nacional pautado na dignidade humana, competitividade econômica e responsabilidade ambiental.

É fundamental que se produzam dados confiáveis, hoje inexistentes, sobre a valorização da engenharia. Sem informação não há estratégia para se avançar. O tema precisa deixar de ser mero discurso, tornando-se indicador mensurável que permita a formulação de políticas públicas, ações institucionais e defesa econômica da profissão.

## Em síntese



- A engenharia é estratégica para o desenvolvimento, mas sua valorização vem sendo comprometida.
- A precarização das relações de trabalho avança, com destaque para a pejotização.
- Cresce o número de profissionais sem vínculo formal, com perda de direitos e proteção social.
- Esse movimento reduz renda, estabilidade e atratividade da carreira, especialmente para os mais jovens.
- Impactos são também estruturais: perda de memória técnica, menor capacidade de inovação e equipes fragmentadas.
- A precarização compromete a qualidade técnica de projetos e a segurança de obras e serviços.
- Há efeitos previdenciários relevantes, com fragilização da seguridade social e aumento da insegurança futura.
- O modelo pressiona salários e cria competição desigual entre profissionais.
- Em médio prazo, reduz a capacidade tecnológica e a produtividade do País.
- Propõe-se fortalecer a fiscalização para coibir vínculos disfarçados de PJ.
- Valorizar o registro profissional e as atribuições técnicas como base do reconhecimento da engenharia.
- Ampliar políticas de formalização, qualificação e carreira estruturada para profissionais técnicos.
- Tratar a valorização da engenharia como política de Estado, essencial à soberania e ao desenvolvimento.



# IMAGENS DE ABERTURA – CRESCE BRASIL 2026

## PARTE 1 | INDÚSTRIA

Foto: Imagem gerada por IA/Montagem: Eliel Almeida

**A engenharia frente à nova sociedade de serviços hiperconectada da era digital**

Marcio Pochmann

**Página 14 – Braço robótico industrial em unidade de fabricação.**

Foto: Freek Wolsink/Pexels

**O papel estratégico do engenheiro na era da transformação digital**

Marcelo Knörich Zuffo

**Página 28 – Circuito integrado.**

Foto: Imago Images/Folhapress

**A decolagem da indústria aeronáutica brasileira**

Luís Carlos Affonso

**Página 34 – Linha de produção de aviões da Embraer, em Gavião Peixoto (SP).**

Foto: Lucas Lacaz Ruiz/Folhapress

**O Brasil no centro da revolução verde: engenharia, bioeconomia e futuro sustentável**

Arnaldo Jardim

**Página 44 – Centro de pesquisas do IPBio, no Vale do Ribeira.**

Foto: Adriano Vizoni/Folhapress

## PARTE 2 | SOBERANIA NACIONAL

Foto: Rafa Neddermeyer/Agência Brasil

**Energia: renda, regulação e reindustrialização**

Ildo Sauer

**Página 50 – Plataformas de petróleo na Baía da Guanabara (RJ).**

Foto: Ricardo Borges/Folhapress

**O desafio da gestão dos recursos hídricos**

Vicente Andreu

**Página 66 – Represa Jaguari-Jacareí, em Joanópolis (SP), que compõe o Sistema Cantareira, registra ao final de 2025 drástica redução em seus níveis de armazenamento.**

Foto: Danilo Verpa/Folhapress

**Engenharia e inovação para a agricultura sustentável e a segurança alimentar**

Paulo E. Cruvinel

**Página 74 – Drones aéreos em campo agrícola para monitoramento de safra.**

Foto: Magda Ehlers/Pexels

**Sustentabilidade, tecnologia e os limites das políticas públicas no Brasil**

Guilherme S. B. Filho, Felipe Serigati e Roberta Possamai

**Página 94 – Agricultura familiar: camponês Josimar Silva em colheita de morango na área rural de Pouso Alegre (MG).**

Foto: Lalo de Almeida/Folhapress

**Sem autonomia digital não há soberania nacional**

Sérgio Amadeu da Silveira

**Página 104 – Data center do Inpe, em Cachoeira Paulista (SP).**

Foto: Lucas Lacaz Ruiz/Folhapress

## PARTE 3 | VALORIZAÇÃO E PROTAGONISMO DA ENGENHARIA

Foto: Imagem gerada por IA/Montagem: Eliel Almeida

**Formação em engenharia: do encantamento precoce à aprendizagem ao longo da vida**

Roseli de Deus Lopes

**Página 118 – 25ª Competição SAE Brasil AeroDesign (2023), em São José dos Campos/SP.**

Foto: Lucas Lacaz Ruiz /Fotoarena/Folhapress

**Engenharia: uma carreira de Estado para garantir o futuro do Brasil**

Antônio A. de Queiroz

**Página 126 – Engenheiro civil Eduardo Palo em obra do primeiro heliporto privado, na região da Jaguaré, em São Paulo (SP), com capacidade para 155 helicópteros e 50 em manutenção.**

Foto: Simon Plestenjak/Folhapress

**Valorização da engenharia e combate à precarização**

Marcellie D. Giratola e Matheus Mansano

**Página 132 – Corpo técnico capacitado é fundamental à inovação.**

Foto: Thirdman/Pexels

FOTO DE CAPA: Depositphotos.com





**Benefícios Reembolsáveis**

Recursos para impulsionar a sua carreira



**Benefícios Sociais**

Taxa da anuidade revertida 100% ao(à) associado(a)



**Previdência Complementar**

Previdência complementar exclusiva dos(as) mutualistas



📞 61 3348-0265

📷 [mutuadeassistencia](#)

🌐 [mutua.com.br](#)



**CUIDAMOS DE TODOS  
CONSTRUÍMOS JUNTOS**



**mutua**  
Caixa de Assistência dos Profissionais de Crea

