



**ANE BRASIL**  
ACADEMIA  
NACIONAL DE  
ENGENHARIA

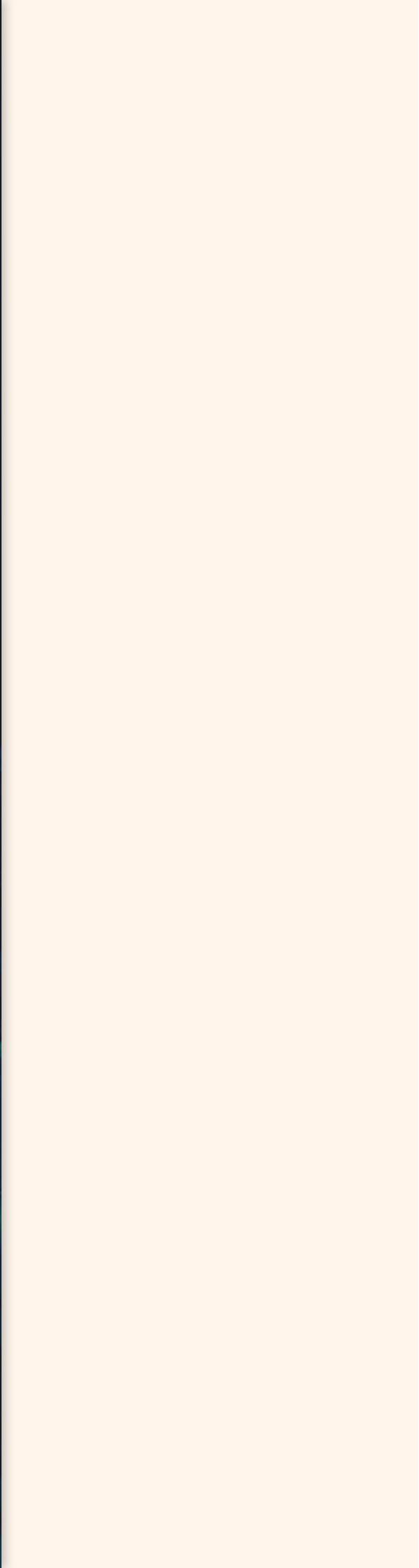
# ENGENHARIA PARA O FUTURO

---

ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA

NOVEMBRO / 2021

# ANE BRASIL





**ANE BRASIL**  
ACADEMIA  
NACIONAL DE  
ENGENHARIA

# ENGENHARIA PARA O FUTURO

---

ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA

OUTUBRO / 2021

ANE BRASIL

# ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA (ANE)

A história da Academia Nacional de Engenharia (ANE) tem início no final da década de 80 quando durante reunião do Conselho Diretor do Clube de Engenharia, em setembro de 1988, o Prof. Antônio José da Costa Nunes sugeriu a criação de uma entidade civil de nível nacional com o objetivo de preencher uma lacuna no âmbito mais abrangente da Engenharia Nacional. Foi, então, constituída uma Comissão para consubstanciar a ideia, comungada, aliás, pelas maiores expressões da Engenharia Brasileira.

O desafio de constituir uma Academia, apesar do falecimento em abril de 1989 do idealizador Prof. Costa Nunes, encontrou solo fértil na mente de, pelo menos, cinco Engenheiros que, durante mais de três anos, dedicaram grande parte do seu tempo para conhecer o trabalho das Academias existentes em diferentes países.

Os documentos analisados possibilitaram o estudo comparado de como surgiram aquelas Academias, seus atos constitutivos, formas de funcionamento, de crescimento e de desdobramento ao longo de suas trajetórias. Este material foi de extrema importância para que esses pioneiros pudessem estabelecer os parâmetros norteadores do projeto de criação e início de existência da Academia Nacional de Engenharia.

Em 25 de abril de 1991, foi realizada assembleia de fundação da ANE e eleição de sua primeira diretoria.

Muito embora seja uma instituição relativamente recente, a Academia já promoveu substancial conjunto de conferências, seminários, tendo emitido relevantes posicionamentos técnicos em apoio a gestão das mais destacadas ações necessárias ao desenvolvimento nacional. A Academia tem participado de atividades da mais elevada importância para a Engenharia, para as quais é convidada por autoridades federais e regionais constituídas. Por ser Instituição de caráter Nacional tem realizado importantes eventos em diversos estados da federação.

A ANE foi criada porque um grupo de engenheiros acreditou na necessidade de uma instituição nacional que detivesse prestígio próprio, cobrindo todas as disciplinas da Engenharia e se fizesse habilitada a promover o soerguimento da importância, da necessidade e do valor da Engenharia Brasileira, como fonte insubstituível na produção e distribuição dos produtos e dos benefícios da tecnologia, favorecendo à Sociedade como um todo. Na alma e no coração da Academia reside o somatório de capacidades pessoais e a integração do potencial de todos os seus Membros.

A plêiade de Engenheiros que integram o Quadro de Membros Titulares da ANE conduz à convicção de que esta entidade está fadada a projetar-se no País e no exterior, como epicentro de excelência, impondo-se como credenciada a constituir fonte de orientação e influência segura e imparcial para a tomada de decisões nos organismos onde a Engenharia esteja presente, garantindo o aprimoramento da Engenharia Nacional.

---

## **Presidente**

- Francis Bogossian

## **Vice-presidente**

- Flavio Miguez de Mello

## **Diretores**

- Alcir de Faro Orlando
- Atila Pantaleão Freire
- Laurindo Leal
- Mario L. M. da Cunha
- Nelson Martins

## Francis Bogossian (Presidente da ANE)



A evolução tecnológica e a globalização transformaram o mundo de forma rápida nos últimos anos. As inovações que afetam a forma como as pessoas convivem em sociedade geram mudanças em todos os setores e nas profissões, até nas mais tradicionais. A engenharia, uma das mais antigas, também enfrenta os desafios desse novo mundo. E como deve ser a engenharia do futuro? Quais devem ser suas preocupações e/ou linhas de condução? Produção sustentável, inteligência artificial, internet das coisas são realidade neste novo cenário e estão no centro da discussão sobre o novo papel da engenharia.

Essas questões e mais algumas outras foram temas de reflexão do Grupo de Trabalho – Engenharia do Futuro, da Academia Nacional de Engenharia, e a conclusão de meses de trabalho está aqui. Com este relatório, produzido por membros da ANE de diferentes áreas de Engenharia e reconhecidos por sua grande expertise, a Academia Nacional de Engenharia pretende contribuir para o crescimento do País e para a valorização da nossa Engenharia.

## José Roberto Boisson de Marca (Coordenador)



Um país que não dispõe de uma engenharia de ponta está fadado a uma posição secundária no cenário mundial. É necessário que a engenharia nacional, historicamente respeitada por sua alta competência, continue a gerar riquezas para o país, contribuindo para o bem estar da sociedade. Neste documento são abordados setores estruturantes e também aqueles de importância estratégica que são essenciais para o progresso do país e nos quais a engenharia deve exercer papel primordial. Para que a engenharia continue a evoluir é necessário modernizar a formação dos engenheiros e esse também é um tema aqui tratado, em especial a necessidade de inculcar uma mentalidade que motive à inovação.

O texto busca ser sensível aos problemas do país e às realidades regionais e sugere oportunidades e diferenciais de competitividade para a engenharia nacional. Um outro balizador do documento foram os aspectos de sustentabilidade. O texto foi preparado por um Grupo de Trabalho, cujos membros são listados ao seu final, no âmbito da Academia Nacional de Engenharia.



# INTRODUÇÃO

A engenharia nacional sempre foi reconhecida pela competência e qualidade da formação dos seus profissionais. No final do século XVIII, o Brasil tornou-se um dos primeiros países a fundar uma escola de engenharia – a Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho, que, no século seguinte, deu lugar à Escola Politécnica da então Universidade do Brasil. A engenharia brasileira é responsável por obras reconhecidas nacional e internacionalmente em suas respectivas áreas: pontes (como a Rio-Niterói, no estado do Rio de Janeiro), grandes obras civis (como a construção da capital federal), o sistema nacional de energia elétrica (incluindo algumas das maiores usinas do mundo, como Itaipu) e o sistema nacional de telecomunicações (implantado pelo Sistema Telebrás na década de 1970) são alguns exemplos. A engenharia contribuiu, ainda, para outros setores que trazem recursos e prestígio significativos para o país, como o aeronáutico (com destaque para o Polo Aeroespacial de São José dos Campos), o de agonegócios e o automobilístico. Dentre as diversas mudanças globais que testemunhamos ao longo da última década, dois fatores, por terem emergido mais recentemente ou pela magnitude do seu impacto nas diversas áreas abordadas no presente documento, merecem destaque. Estes são a transformação digital e a busca pela produção sustentável.

A internet das coisas, a inteligência artificial e a ciência de dados revolucionaram todas as áreas de atuação da engenharia tradicional. Porém, mais do que isso, avanços nas tecnologias digitais permitem hoje identificar padrões de comportamento, decifrar como pensamentos e sentimentos são construídos, decodificar e influenciar entendimentos, comportamentos e decisões. Este novo e desafiador cenário – que provoca discussões sobre o que é humano, cria dilemas éticos e afeta a organização da sociedade, o trabalho, a construção de poder e a ordem global – cria questões centrais sobre ética na engenharia.

Um segundo fator de destaque emerge do entendimento de que a produção sustentável é um vetor de competitividade e gera retorno financeiro, como também propicia convivência mais harmoniosa com a sociedade. Por isso, vários dos princípios preconizados pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) aparecem como pano de fundo dos parâmetros utilizados no cálculo do índice ESG (sigla do inglês *environmental, social, governance*) das empresas. Essa nova métrica, que atende a demandas crescentes da sociedade, cria acesso a investimentos que levam em conta critérios de sustentabilidade ambiental, social e de governança corporativa.



Estas novas e complexas questões precisam ser acompanhadas de perto pela engenharia, tanto do ponto de vista do desenvolvimento de novos processos e tecnologias quanto da formação de recursos humanos. Neste documento, foram selecionados, de forma não exaustiva, setores e áreas consideradas de grande relevância e que apresentam oportunidades excepcionais para que engenharia nacional continue a gerar riquezas para o país, sob a ótica do desenvolvimento e da sustentabilidade.

Os setores e áreas selecionadas estão divididos em duas categorias: **estruturantes** e **estratégicos**. Os setores estruturantes devem ser tratados de forma emergencial e focam em problemas críticos que não podem conviver com uma economia que se coloca entre as mais fortes do mundo. Estes ajudarão o país a avançar nas tecnologias de inovação, bem como resolver problemas de moradia e saneamento básico, por exemplo. As áreas estratégicas, por sua vez, permitirão tirar proveito das principais oportunidades e potenciais, como a biodiversidade e os recursos minerais brasileiros. Um dos princípios desse documento foi, portanto, focar em áreas nas quais o Brasil já possui ou possa vir a ter uma posição de liderança.

Dois aspectos considerados essenciais para atingir e manter esta liderança são a qualidade e a mentalidade<sup>1</sup> (*mindset*) que devem nortear a formação de engenheiros. Ao longo das próximas páginas, serão apresentadas algumas propostas e reflexões sobre o perfil do engenheiro contemporâneo e sua formação.

## O ENGENHEIRO CONTEMPORÂNEO

### Formação e mudança de atitude

O século 20 foi marcado por inovações extraordinárias que mudaram radicalmente a forma como vivemos, nos locomovemos e nos comunicamos. No princípio, essas inovações estavam relacionadas a produtos bem definidos: telefone, rádio, automóvel, avião, computador. Todos remetem à imagem de um engenheiro-inventor. Já os desafios para o século 21 são bem mais complexos, e suas soluções exigem esforço coletivo e abordagens transdisciplinares. Do engenheiro, espera-se, além de bases sólidas de conhecimento, espírito empreendedor, capacidade de trabalhar em equipes multidisciplinares e multiculturais e, ainda, ética e uma visão clara da responsabilidade social da engenharia.

*“Engenheiros devem ser encorajados a empreender e inovar”.*

Historicamente, a formação de engenheiros prezou pela preparação técnica desses profissionais para o mercado de trabalho. Aqueles que optaram por seguir a rota acadêmica obtiveram, após o mestrado e o doutorado, autonomia para o trabalho de pesquisa, ainda que em novos campos. Já outros engenheiros, atuantes no campo da inovação, complementaram sua formação no interior das empresas, em geral, nos setores de desenvolvimento.

Hoje, no entanto, a maioria das grandes empresas não investe tão diretamente em inovação e boa parte dessa tarefa foi assumida pelas *start-ups*. Por isso, no cenário atual, é importante que a formação do engenheiro, no nível da graduação, desenvolva seu lado inovador, preparando futuros profissionais para o trabalho interdisciplinar, com bom domínio do inglês e, naturalmente, boa base de conhecimentos

---

<sup>1</sup> Mentalidade no sentido de “configuração de memória” ou *mindset* em inglês.

técnicos, além de conceitos relacionados ao meio ambiente e à sustentabilidade. Ainda, com a chegada dos conceitos 4.0, focados na automação inteligente, é crucial a inclusão de disciplinas relacionadas às ciências de dados, como estatística, inteligência artificial, aprendizado de máquina e similares.

## “Ambientes com diversidade étnica e de gênero favorecem a criatividade.”

Proporcionar essa formação ampla, reduzindo a carga horária dos graduandos em disciplinas será o principal desafio dos educadores. Ao final do curso de graduação, é preciso ter engenheiros com uma mentalidade inovadora, capazes de agregar diferentes conhecimentos e gerar produtos prontos para o mercado, em especial produtos relevantes para solucionar problemas locais e regionais, aproveitando os recursos disponíveis em sua região de atuação.

É necessário, também, valorizar a carreira do engenheiro e atrair talentos, sejam eles jovens brasileiros (o exemplo de outros países nos mostra que isso deve ser feito já no ensino fundamental) ou estrangeiros já formados. Por fim, vale ressaltar que a diversidade étnica e de gênero é importante para fomentar a criatividade e, portanto, deve ser incentivada.



## Ética na engenharia

A engenharia e seus profissionais transformam em ações e produtos o conhecimento científico. Para isso, combinam teoria e prática experimental, produzindo constantes mudanças que afetam a vida das pessoas e as estruturas políticas de países. Se, por um lado, esta é uma atividade que impulsiona o progresso, por outro, é também verdade que o desenvolvimento tecnológico pode ter impacto negativo em diferentes áreas. Portanto, engenheiros precisam compreender o papel que exercem na geração de mudanças e estar engajados em minimizar quaisquer efeitos colaterais que elas acarretem.

Um exemplo muito claro dos desafios éticos trazidos pela inovação tecnológica é a coleta de informações sobre a vida e os hábitos dos usuários da internet, processados por algoritmos de inteligência artificial e análise de dados cada vez mais sofisticados. Quem deve ter propriedade sobre esses dados? Que responsabilidades devem ser atribuídas a um agente artificial? São questões que precisam ser respondidas.



Exemplo de Código de Ética e Integridade Profissional: <https://bit.ly/codeticaengenharia>

Da mesma forma, o aumento das atividades de atendimento médico digital (*e-health*) também levanta questões sobre a privacidade de dados gerados por equipamentos médicos.

Assim, a dimensão ética da engenharia torna-se cada vez mais importante, e deve ser refletida na formação de engenheiros para o futuro. Um instrumento fundamental para isso será o desenvolvimento e adoção de um **Código de Ética e Integridade Profissional**, a exemplo do que já foi feito por entidades internacionais de engenheiros.

## SETORES ESTRUTURANTES

### Energia

O desenvolvimento da economia necessário para diminuir as desigualdades sociais (ODS 10) é diretamente dependente da energia disponível a custos compatíveis. Por sua vez, a disponibilização de energia deve levar em consideração restrições de sustentabilidade e impacto ambiental, buscando soluções limpas (ODS 7). Nas próximas décadas, portanto, precisamos viabilizar a utilização ampla de diversas fontes renováveis de energia. Embora saibamos que, por um período de transição, o uso de combustíveis fósseis, em especial o petróleo, ainda será necessário, podemos apostar no aumento da eficiência no uso desses combustíveis, além de desenvolver técnicas de sequestro de carbono ou de compensação. Hoje, no Brasil, em média pouco mais de 20% do petróleo de um poço é extraído. É importante, portanto, investir em recuperação avançada de petróleo para aproveitar melhor o óleo em um reservatório.

Na energia elétrica, temos as hidrelétricas como fonte principal de geração e ainda existem novas usinas a construir, mas com capacidade total muito menor do que o que já foi explorado. Ademais, boa parte desta reserva hídrica se encontra na Amazônia, longe dos principais centros consumidores.

Grandes parques de geração de energia solar e eólica devem continuar a ser desenvolvidos, em especial no Nordeste, assim como pequenos sistemas de geração distribuídos em zonas rurais ou mesmo em áreas urbanas. Se a geração eólica em terra tende a estar concentrada no Nordeste, a geração *offshore*, que pode permitir maior capacidade dos geradores, deve ser uma opção para estudos e implantação em outras regiões do país. A energia do oceano também deve ser estudada para uso em futuro não muito distante, especialmente em locais perto da costa ou em ilhas.



Outra possibilidade promissora para a matriz energética brasileira é a produção, a partir de fontes renováveis, do hidrogênio – um combustível que, quando “queimado”, gera apenas água como resíduo. O hidrogênio pode ser útil tanto para futuros automóveis movidos a esse gás quanto para uso em processos industriais, por exemplo, nas siderúrgicas.

## *“O hidrogênio é elemento fundamental na transição energética.”*

O Brasil tem grande potencial, ainda, para o uso da bioenergia e deve apostar nessa área, incluindo tecnologias de produção do etanol de segunda e terceira gerações, biodiesel e outras. Por fim, é importante dominar e garantir segurança para o uso de energia nuclear por fissão, que não gera gases de efeito estufa. A fusão nuclear teoricamente pode ser uma solução, porém tecnologicamente ainda é muito difícil, e deve estar em uma meta para um futuro mais distante.

Em busca de uma transição definitiva para fontes limpas de energia, devemos estar atentos a questões como eficiência energética, armazenamento de energia e emprego maciço de técnicas digitais e de redes inteligentes.

## **Tecnologia da informação**

Até recentemente, quando se falava em infraestrutura de um país, os pontos considerados mais relevantes eram estradas, portos e aeroportos. Nos últimos 20 anos, porém, outros aspectos ganharam importância, em especial a rede de telecomunicações e os serviços de dados que podem ser obtidos através dessa rede.

A partir de 2020, a pandemia de Covid-19 acentuou e realçou este fato: atividades de trabalho e ensino passaram a conviver no espaço interno das residências, com grande impacto sobre as pessoas, os negócios e os países – houve, assim, uma demanda por maior velocidade nas conexões residenciais, em vez daquelas nos escritórios. No Brasil, setores da sociedade com maior renda puderam fazer essa transição com relativa tranquilidade, mas outros ficaram de fora. Trabalhadores com maior autonomia e que sabem exercer seu trabalho remotamente levaram vantagem, mas é sempre importante lembrar que, em um país onde ainda há tantos analfabetos funcionais, esse quadro agravou a marginalização de certos grupos do mercado de trabalho.

## *“É preciso preparar a nossa população para o mundo fundamentado na TI.”*

Para além do trabalho, a inserção digital dos cidadãos, com acesso à internet de velocidade adequada, é essencial em um mundo – como ficou muito claro na pandemia – onde grande parte das atividades cotidianas pode ou precisa ser realizada on-line, incluindo, por exemplo, a compra de alimentos e remédios, o relacionamento com o governo e o pagamento de impostos, o entretenimento e a educação básica e especializada. Para atingir competitividade global, portanto, o Brasil precisará enfrentar as desvantagens associadas ao analfabetismo digital. É crucial preparar a nossa população para o mundo fundamentado nas tecnologias de informação.

O fosso da desigualdade digital (*digital divide*) vai se aprofundar muito rápido a partir de agora. É imprescindível que uma engenharia de ponta em tecnologia de informação dê apoio a empresas e ao governo, garantindo que o Brasil não fique do lado errado desse fosso. Note-se, ainda, que a tecnologia de informação é fator importante na sonhada eliminação das desigualdades sociais e também na economia de energia, levando a uma maior sustentabilidade.

# Habitação

O Brasil destaca-se por abrigar grandes empresas de construção civil, capazes de competir com sucesso em mercados globais. Portanto, o país dispõe de engenharia de porte e tecnologia para fazer face à demanda nacional por habitação. Entretanto, apresenta um déficit habitacional de cerca de 7,9 milhões de moradias conforme dados de 2019 ([www.abrainc.org.br](http://www.abrainc.org.br)), além de uma demanda de cerca de 30,9 milhões de novas moradias para atender ao crescimento da população brasileira e à formação de novas famílias até 2030.

Além da carência por novas moradias, o Brasil enfrenta problemas oriundos da habitação em condições precárias ou de alto risco, da superlotação e da coabitação, além do impacto dos custos de aluguéis na renda familiar. Esses problemas refletem o processo acelerado de urbanização do país. A população urbana, que era cerca de 30% em 1940, cresceu para 84,7% em 2015 (PNAD, 2015) e agora se aproxima de 90%. Contudo, esse crescimento extraordinário se deu sem a criação concomitante de infraestrutura de transportes, energia, educação, saneamento, segurança e lazer.

Algumas tendências globais criam oportunidades para o maior protagonismo da engenharia na solução desses problemas.

A primeira delas é o processo de descentralização urbana, com a ampliação do *home office*. Embora tenha sido acelerada pela pandemia, a descentralização transcende a conjuntura pandêmica e mostra-se alinhada aos conceitos de cidades mais humanas e sustentáveis, nas quais se promove a integração de habitação, lazer e serviços, com vistas à melhoria da qualidade de vida da população.

A segunda tendência é a cobrança crescente, pelos investidores ou demais partes interessadas, de que as empresas, independentemente do seu setor de atuação, atuem com responsabilidade ambiental, social e de governança (ESG, em inglês). Neste cenário, pela sua importância econômica e por seu acesso na interlocução com o governo, a empresa de construção civil pode assumir um papel proativo na melhoria da qualidade de vida, na redução das desigualdades e no desenvolvimento regional.



Leia o capítulo sobre **Cidades Sustentáveis e Inteligentes** do Projeto de Ciência para o Brasil da Academia Brasileira de Ciências: <https://bit.ly/cienciaparabr>



Por fim, ressalta-se que a transição do modelo atual de cidades com grande adensamento populacional para cidades também inteligentes envolve o uso intensivo de tecnologias de informação e comunicação, mas vai além: alavanca e articula setores intensivos em engenharia, como energia, recursos minerais, alimentos e transportes. O grande desafio é que as cidades inteligentes resultem em melhoria de qualidade de vida para uma parcela majoritária da população brasileira, utilizando tecnologias e serviços que propiciem a otimização do uso dos recursos naturais e o menor impacto ao meio ambiente. Precisamente desse desafio nascem amplas oportunidades para o surgimento de novas empresas brasileiras com oferta de produtos de alta tecnologia e serviços inovadores desenvolvidos por nossos engenheiros.

## Saneamento e recursos hídricos

O saneamento básico – que engloba abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e coleta e destinação adequada de resíduos sólidos – é um problema grave no Brasil. Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento indicam que, dos 5.570 municípios do país, apenas 85 (1,5% do total) oferecem sistema de saneamento que atende dignamente sua população. E mais: a cada 100 litros de esgoto coletados, 23 não são tratados; a cada 100 litros de água encanada, 39 não chegam ao seu destino, pois são desperdiçados. Cerca de 40 milhões de brasileiros não têm acesso a água encanada e 100 milhões usam fossa.

Melhorar o saneamento básico da nossa população, além de ser imperativo, é também uma oportunidade para a engenharia e para a tecnologia. O abastecimento de água em larga escala e universal representa possibilidades de aproveitamento e preservação dos nossos recursos hídricos. Vale notar que algumas metodologias que já dominamos podem ser de grande contribuição nesse processo: coleta de água da chuva, reaproveitamento de água utilizada, desinfecção e higienização de água. Por sua vez, o tratamento e a destinação adequada de resíduos também representam um aspecto importante e lucrativo da economia circular. A matéria orgânica deve ser fonte de energia e seu aproveitamento em larga escala deve ser dominado e implantado, a exemplo do que já acontece em outros países.

***“Melhorar o saneamento básico no Brasil é imperativo e oportunidade para a engenharia.”***

O recente marco legal do saneamento básico, que entrou em vigor em julho de 2020, possui metas ousadas, como prover 99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até dezembro de 2033. A comunidade de engenharia brasileira deve discutir formas de tornar viáveis essas metas. Aspectos como a uniformização de regras para o atendimento da população, o fim do direito de preferência a empresas públicas e o estímulo ao investimento privado poderão trazer qualidade e eficiência ao sistema.

Quanto à gestão dos recursos hídricos, além da implantação de tecnologias de ponta – muitas das quais já estão disponíveis –, é essencial desenvolver novas ferramentas tecnológicas capazes de monitorar o aproveitamento, a captação e o reuso das águas pluviais e do retorno de água de melhor qualidade, servido por sistemas mais eficientes de saneamento.



Acesse aqui o  
Dados do Sistema Nacional  
de Informações  
sobre Saneamento: <https://bit.ly/aguaeesgotosnis>

Conhecer a disponibilidade atual e futura dos recursos hídricos brasileiros e de cada região do país, bem como promover a sua conservação, é um tema estratégico e de crescente vantagem competitiva. Neste contexto, são prioridades quantificar o valor da água, explorar seus usos múltiplos, conservá-la em qualidade e quantidade, e explorar fontes alternativas, como águas pluviais e reuso.

O inventário e o monitoramento qualitativo e quantitativo das águas superficiais, áreas úmidas, águas subterrâneas e efluentes devem ser utilizadas como instrumentos de gestão pública e de planejamento. Para isso, deve-se contar com ferramentas tecnológicas, muitas disponíveis e outras a serem desenvolvidas, capazes de levantar todos os dados necessários para uma gestão moderna de recursos hídricos. As informações obtidas devem estar disponíveis para o gestor, mas também para a sociedade, de forma acessível, clara e em tempo real.

Criar incentivos que favoreçam as boas práticas de saneamento e de monitoramento dos nossos recursos hídricos, acompanhados de oportunidades tecnológicas para empresas existentes de engenharia e para empresas emergentes, representa uma política inteligente para o setor e atende aos temas centrais do ODS 6.

## Transportes e mobilidade

Em um país de grandes dimensões onde o agronegócio e os recursos minerais são engrenagens fundamentais da economia, o setor de transportes desempenha um papel crucial na geração de riqueza. Mais uma vez, trata-se de uma área com muitas oportunidades para a engenharia e a tecnologia.

Aproximadamente 60% das cargas do país são transportadas por meio rodoviário e, em extensão, possuímos a quarta maior malha rodoviária do mundo. Porém, ela apresenta fragilidades e deficiências: apenas 14% das rodovias construídas são pavimentadas e, dessas, quase a metade apresenta problemas no pavimento e deficiência na sinalização (Anuário Estatístico de Transportes 2010-2019 do Ministério da Infraestrutura). A título de comparação, a China, país que possui a segunda malha rodoviária do mundo (atrás apenas dos EUA), com aproximadamente 4 milhões de quilômetros, possui mais de 80% de suas estradas pavimentadas.

Portanto, novas tecnologias em traçado de rodovias, pavimentação e construção de pontes e viadutos aparecem como alguns dos setores onde a engenharia pode contribuir grandemente para o desenvolvimento nacional. Em se tratando de movimentação de cargas e de pessoas, as tecnologias digitais, ainda pouco utilizadas no setor de transportes, podem trazer mais segurança e mais eficiência operacional e logística.

***“Otimizar o fluxo de veículos, cargas e passageiros com novas tecnologias é um desafio para a engenharia nacional.”***

Aqui, apresentamos mais uma comparação internacional para apontar os desafios que ainda enfrentamos no país: no Brasil, 32 bilhões de passageiros-quilômetros (número total de pessoas transportadas multiplicada pela quilometragem anual percorrida por cada pessoa) são transportados anualmente nas rodovias.



Leia o Anuário Estatístico de Transportes 2010-2019 do Ministério da Infraestrutura: <https://bit.ly/anuariodetransportes1019>



Confira os Dados da OCDE sobre transporte de passageiros usando transporte terrestre: <https://bit.ly/anuariode-transportes1019>

Na França, são 860 bilhões, na Alemanha, 1.000, e nos EUA, 6.560. Na vizinha Argentina, o número é de 49 bilhões de passageiros-quilômetros anuais. Qualificar novos profissionais e utilizar tecnologias avançadas na construção e monitoramento das estradas parece ser o caminho mais efetivo para melhorar e ampliar nossa infraestrutura de transporte rodoviário, além de trazer mais segurança aos motoristas, passageiros e outros usuários.

Além da malha rodoviária, o transporte aquático também é extremamente relevante para a economia nacional. O Brasil tem 8,5 mil quilômetros de costa navegável e 21 mil quilômetros de hidrovias economicamente navegáveis, com 37 portos e 141 terminais de uso privado. Porém, mesmo transportando mais de um bilhão de toneladas de carga por ano, nosso sistema aquaviário representa um entrave para o crescimento de nossas exportações. O uso ampliado da automação, inteligência artificial, veículos autônomos e tecnologias digitais em geral poderá trazer progresso substancial ao transporte aquaviário e à operação dos portos e terminais de uso privado.

Por fim, os transportes ferroviário e aeroviário também devem ser explorados com novas tecnologias. Aspectos como o monitoramento e o controle do fluxo de veículos, cargas e passageiros a partir de novas tecnologias de comunicação e informação abrem muitas oportunidades para a engenharia nacional. Adicionalmente, abre-se espaço para a engenharia veicular, que pode explorar locomotivas e aeronaves autônomas e que façam uso de novas fontes de energia e de baterias de alto desempenho. Trata-se de oportunidades disruptivas tanto para empresas já consolidadas como para novas empresas emergentes criadas por mentes empreendedoras.



## Mobilidade urbana

Embora, como vimos, a pandemia tenha suscitado mudanças em relação ao deslocamento para o trabalho e o estudo, com a ampliação da prática do *home office*, essa mudança não atinge toda a população. Ao contrário, entre as classes menos favorecidas, em especial nas grandes metrópoles brasileiras, ainda é comum que os indivíduos dependam de longas viagens entre suas residências e locais de trabalho ou escolas. Milhões de pessoas são impactadas por este problema, que afeta sua saúde, segurança, condição financeira e tempo de lazer.

Este problema não é apenas nosso: mundialmente, a mobilidade urbana vem sendo considerada prioritária para melhorar a qualidade de vida. Até 2050, prevê-se que 65% da população mundial esteja residindo em ambientes urbanos, com mais de 40 megacidades espalhadas por diversos países.

Portanto, trata-se de uma questão premente, internacional e multidisciplinar, para a qual a engenharia pode e deve prover soluções. Exemplos de áreas que podem ser exploradas incluem logística e

regulamentação para transportes urbanos do futuro; desenvolvimento de veículos coletivos autônomos; segurança cibernética para veículos e infraestrutura de sinalização conectados; acessibilidade em mobilidade urbana; redução de acidentes para veículos vulneráveis (motos, bicicletas, patinetes); planejamento urbano visando redução da necessidade de deslocamento dos cidadãos; e questões éticas e legais, incluindo reflexões sobre um cenário dominado por veículos autônomos.



## TEMAS E SETORES ESTRATÉGICOS

### Desigualdade e inovação social

No Brasil, as desigualdades sociais (tratadas no ODS 10) estão associadas principalmente a aspectos regionais, econômicos, educacionais, históricos, de gênero e étnicos. Nas três primeiras frentes, a engenharia encontra diversas oportunidades para atuar.

Muitos contrastes e assimetrias regionais podem ser tratados e reduzidos pela identificação de vocações regionais, com subsequente estímulo a projetos tecnológicos que gerem atividade econômica e oportunidades de negócios compatíveis com tais vocações. Alguns exemplos de áreas que podem gerar desenvolvimento e riqueza em regiões menos favorecidas são projetos associados a geração de energia, aproveitamento de recursos naturais, agricultura e pecuária de precisão, moradia e biotecnologia.

*“O desenvolvimento regional deve ser estimulado com novas tecnologias. Ele reduz as desigualdades, atrai e fixa talentos.”*

Naturalmente, a atividade econômica com ênfase em oportunidades regionais gera demanda por qualificação de pessoas e estímulo à melhoria da educação em todos os seus níveis. Essa educação deve desenvolver também a mentalidade (*mindset*) do inovador local. Oportunidades de trabalho e renda com foco no desenvolvimento regional contribuem para a redução das desigualdades sociais, além de atrair e fixar talentos e gerar riqueza e prosperidade por meio de um círculo virtuoso que beneficia a região e seus habitantes.

Ainda no tema das desigualdades, vale lembrar que uma área importante a desenvolver são as tecnologias assistivas que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com algum tipo de deficiência, promovendo autonomia e inclusão social. Segundo dados levantados em 2019 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (<https://bit.ly/estatisticasdegeneroibge>), pelo menos 45 milhões de brasileiros – quase um quarto da população – têm algum tipo de deficiência. A engenharia pode e deve dar sua contribuição na criação de soluções para a vida diária, como tecnologias de informação e comunicação alternativas, projetos de moradia com acessibilidade, órteses e próteses.



## Biodiversidade

O Brasil lidera o *ranking* mundial em riqueza de espécies conhecidas no mundo. Essa riqueza em biodiversidade tem implicações diretas em um amplo espectro de serviços ecossistêmicos, com reflexos no clima e na segurança hídrica e alimentar. Como exemplo, tem-se as posições de destaque do país: como detentor de estoques de carbono e de reservas de água doce superficial, e na produção de alimentos.

*“A incomparável riqueza de biodiversidade do país cria grandes oportunidades de geração de emprego e renda.”*



Leia o capítulo sobre: Biodiversidade em Foco do Projeto de Ciência para o Brasil da Academia Brasileira de Ciências: <https://bit.ly/cienciaparabr>

Contudo, os valores econômicos e socioculturais associados à rica biodiversidade e aos serviços que dela decorrem ainda não são devidamente aferidos. Estabelecer parâmetros de medida e critérios de controle de qualidade para aferir esses valores contribui não apenas para subsidiar políticas de ocupação do solo e de licenciamento ambiental, mas também para fortalecer o protagonismo do país em temas de crescente interesse global, como as mudanças climáticas e o bem-estar do planeta. Além disso, a aferição dos valores associados à biodiversidade pode ajudar a minimizar a polarização frequente entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental, balizando a tomada de decisões.

A mencionada aferição requer abordagens multidisciplinares e traz oportunidades de forte contribuição das engenharias, com amplas repercussões de natureza científica, tecnológica e econômica. A identificação das oportunidades de geração de emprego e renda a partir da incomparável biodiversidade existente no país, quando associada a políticas de preservação, pode criar condições concretas de desenvolvimento sustentável em regiões como a Amazônia.



## Indústria aeroespacial

O setor aeroespacial é estratégico tanto do ponto de vista econômico como da soberania nacional. Infelizmente, ao longo dos anos, o Brasil perdeu competitividade nessa área, o que torna urgente fortalecer nossas parcerias internacionais e retomar investimentos, em colaboração com a indústria nacional. Assim, poderemos explorar oportunidades na indústria aeronáutica, onde o país já é bem situado, como na aviação civil, ou parcialmente competitivo como na área da defesa e na produção de satélites e equipamentos correlatos.

Nossa grande extensão territorial torna estratégica e necessária a aplicação de tecnologias espaciais em áreas como prospecção de recursos naturais, monitoramento do meio ambiente, vigilância das fronteiras terrestres e das costas marítimas, meteorologia e previsão do tempo e clima, vigilância e combate a desastres naturais, monitoramento das desigualdades regionais e crescimento urbano.

Ainda, o domínio da tecnologia da produção de satélites abre inúmeras perspectivas nos serviços de telecomunicações e na indústria de componentes e instrumentos. Trata-se de um ramo altamente promissor, com grande potencial de crescimento devido a suas diversas aplicações – transmissão de sinais de rádio, televisão, áudio, dados e captura de imagens são alguns exemplos.

Para tornar tudo isso realidade, é crucial a questão do financiamento. Parcerias entre os setores público e privado, já bem testadas em outros países, podem servir de exemplo para o setor aeronáutico e para a produção de satélites no Brasil, fornecendo parâmetros para balizar políticas públicas e programas de apoio ao fortalecimento e crescimento da indústria aeroespacial brasileira.

## Agronegócio

Um dos setores onde o Brasil é mais competitivo em nível mundial é o dos agronegócios. Adicionalmente, este é um setor onde prevemos grande crescimento e grandes demandas. Em 2050, a população mundial deve chegar a dez bilhões de pessoas. Com o aumento populacional, associado à melhoria das condições de vida, a produção de alimentos deve requerer um aumento de 50% na produção global de alimentos, dos quais caberá ao Brasil suprir cerca de 40% deste aumento. No caminho para fortalecer o agronegócio, nos deparamos com inúmeras oportunidades científicas e tecnológicas, incluindo muitas áreas de atuação para a engenharia: tecnologias digitais, nanotecnologia, química verde, automação (juntamente com o maquinário associado), e biotecnologia.

O desenvolvimento e o crescimento dos agronegócios devem ser emoldurados pela sustentabilidade ambiental, em um cenário de mudanças climáticas. É fundamental integrar, no custo do agronegócio, nossos ativos ambientais associados à biodiversidade a ser preservada. Para isso, precisamos desenvolver novas práticas de quantificação de custos que incluam a valoração do meio ambiente, além do monitoramento e da gestão ambiental. Neste contexto, há importantes oportunidades para a engenharia também no fortalecimento dos sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta e no desenvolvimento de tecnologias inovadoras para biorremediação.

A expectativa é de que, mais do que em qualquer setor, nos agronegócios haverá grande demanda para empresas emergentes de base tecnológica. A agricultura e a pecuária nacionais têm grande tradição e experiência acumuladas, mas visitar cada uma das atividades tradicionais sob a ótica da contemporaneidade certamente trará grandes oportunidades de novos negócios.



## Recursos minerais

A forma como vivemos, nos locomovemos e nos comunicamos é fortemente dependente dos produtos de base mineral. Estes recursos são finitos e, portanto, devem ser explorados com o compromisso e a responsabilidade de que a riqueza gerada seja utilizada para fomentar desenvolvimento e prosperidade sustentável nos territórios privilegiados pela sua ocorrência.

Estratégicos para o desenvolvimento e a segurança das nações, os recursos minerais são necessários para garantir a transição, já em curso, para processos mais eficientes, limpos e sustentáveis. Exemplos internacionais como o *EIT Raw Materials (European Institute of Innovation and Technology)*, criado em 2015, ou tentativas como o *Onshoring Rare Earths - RARE Act*, de 2020 do congresso americano, ilustram a preocupação dos países em assegurar o suprimento de matérias primas críticas para aplicações tecnológicas.

**“As transformações no setor de Recursos Minerais criam oportunidades para novos negócios, serviços e tecnologias.”**

O Brasil tem reservas minerais diversificadas e se destaca como ator global na produção de *commodities* minerais. Nichos de oportunidade de base mineral que possam alavancar cadeias produtivas alinhadas com as tendências da economia verde e – suprir a enorme demanda de insumos do agronegócio nacional – devem ser explorados. Por sua magnitude, estas possibilidades dependem de políticas industriais que organizem e articulem as cadeias produtivas.

Note-se que a indústria mineral, em um contexto global, tem passado por grandes transformações. Estas apontam para operações cada vez mais autônomas, seguras e eficientes, com uso ampliado de inteligência artificial e que resultem em menor impacto nos ecossistemas, preservando áreas de valor histórico e cultural para as comunidades que habitam os territórios compartilhados. Na prática, isso requer o uso cada vez mais eficiente de todos os insumos envolvidos: água, energia e minério.

Este cenário fomenta o uso de abordagens que incluem lavra de precisão (para minimizar os impactos da lavra a céu aberto e a sua interferência na paisagem), concentração precoce a seco (para reduzir tanto a movimentação de material quanto o uso de água e energia nas etapas de concentração a úmido), lixiviação *in situ* e, sobretudo, disposição a seco e aproveitamento de rejeitos com geração de coprodutos. Processos com melhor desempenho ambiental contribuem para a aceitação dos empreendimentos pela sociedade, além de gerar inovação e receitas para as empresas.

A incorporação e implementação dos conceitos da economia circular, com o uso crescente de fontes secundárias de metais, cria perspectivas para novos empreendimentos de base científica e tecnológica no país, além de inúmeras oportunidades para novos negócios, serviços e tecnologias para diversas áreas da engenharia.



Acesse o site do EIT Raw Materials (European Institute of Innovation and Technology): <https://eitrawmaterials.eu>



Confira a tentativa Onshoring Rare Earths - RARE Act: <https://bit.ly/rareearthacts>

# Ambientes inteligentes e transformação digital

É patente que a transformação digital vem afetando o planejamento, para os próximos anos, de muitas empresas. Influência, também, as políticas de investimento de países e blocos com liderança tecnológica, como a União Europeia. É certo que os países que não incorporarem essa transformação digital vão perder em produtividade e, por consequência, em competitividade.

Neste contexto, o Brasil preparou em 2017-2018 a Estratégia Digital Brasileira – EDB. No entanto, essa estratégia parece estar sendo implantada de forma lenta e apenas em algumas das áreas consideradas estratégicas.

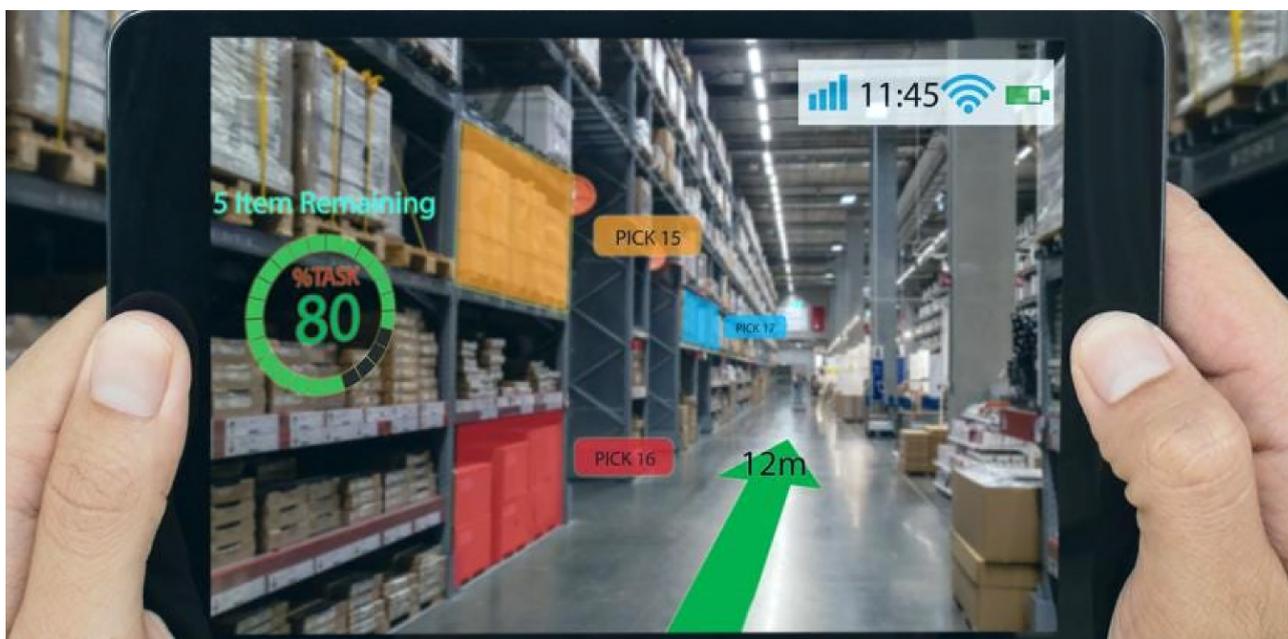
Quando falamos em transformação digital, consideramos principalmente as redes de sensores inteligentes conectadas à internet, resultando na Internet das Coisas (IoT, na sigla em inglês) ou Internet de Tudo (IoE). Esses avanços propiciam conceitos como Indústria 4.0 (a nova revolução industrial) e Cidades Inteligentes e Sustentáveis.

*“É essencial que o país tenha uma infraestrutura de rede de comunicações segura e de alta qualidade.”*

A revolução industrial associada à Indústria 4.0 trará grandes mudanças aos parques fabris existentes e aos processos de produção, que farão uso crescente da automação, da robótica, dos veículos autônomos, da inteligência artificial e da manufatura aditiva. Já o conceito de cidades inteligentes e sustentáveis traz consigo a manipulação e análise de grandes dados, juntamente com uma economia circular.

Paralelamente, outros setores estão começando a se beneficiar da tecnologia de IoT, como o setor agropecuário, de tanta importância para o Brasil, e a área de saúde. Esta última, em breve, poderá fazer uso de sensores implantáveis. Alguns países já estão empregando, durante a pandemia, uma tecnologia de rastreamento para monitorar contatos de pessoas infectadas com Covid-19.

No entanto, um requisito básico para que a transformação digital seja bem-sucedida é a confiança do usuário final e das organizações na privacidade e na segurança dos serviços oferecidos. Por isso, o Brasil deve investir no desenvolvimento de tecnologia de segurança cibernética. É essencial, também, a disponibilidade de infraestrutura de rede de comunicações de ponta, tanto para acesso quanto para conectividade.



Outra tecnologia que assume papel relevante em diversos aspectos da transformação digital é o de aprendizado de máquinas (*Machine Learning*). No entanto, o aprendizado de máquina deve ser sempre empregado com preocupação e foco no indivíduo. Essa preocupação está presente também nas estratégias de outros países com liderança tecnológica.

Finalmente, quanto à transformação digital no setor financeiro – também muito forte no Brasil –, deve-se ter atenção à tecnologia de *Blockchain* e seus desenvolvimentos, que permitirão que cidadãos comuns façam uso dela. Todas estas áreas citadas, se bem empregadas e sem atrasos na sua implementação, têm enorme potencial para se tornarem novas e importantes fontes de riqueza para o Brasil.

## A importância da Inovação

Sabidamente, países que inovam alcançam desenvolvimento econômico e social mais harmônico e sustentável além de tornarem-se mais competitivos em termos globais. O povo brasileiro é criativo e empreendedor, e o que é necessário é direcionar esta criatividade e a visão empreendedora para a área tecnológica, em especial, transformando em produtos finais as ideias que seriam apenas criativas. Neste contexto a engenharia nacional encontra diversas oportunidades, sobretudo se trilhar o caminho da inovação tecnológica. Existem vários exemplos que são estimulantes e encorajadores, mas é necessário criar incentivos e introduzir mudanças de mentalidade para que o desenvolvimento tecnológico e a inovação possam ser praticados em sua plenitude de forma a trazer os benefícios esperados e desejados.

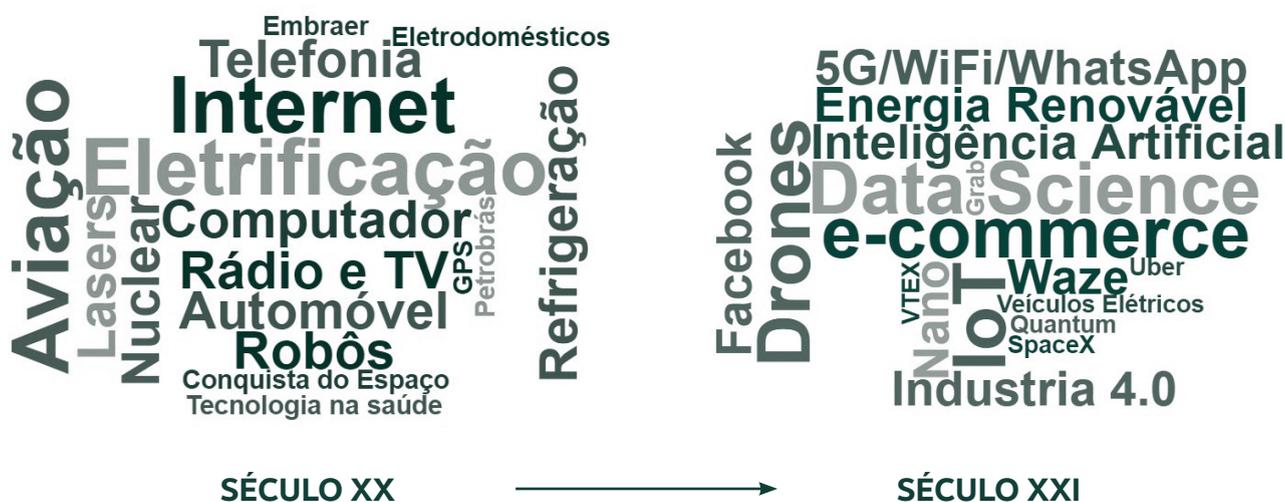
*“O fomento à inovação deve oferecer um ambiente de convivência com riscos e desafios.”*

A gestão de pessoas por competência e resultado, o planejamento orientado à inovação, e a formação de engenheiros com a clara visão e mentalidade de inovação podem contribuir para melhorar a cultura da inovação no Brasil. Inovação tecnológica de grande impacto exige trabalho cooperativo e integrado e por isto devemos buscar a integração de competências complementares, inclusive não técnica, em torno de demandas objetivas e concretas. Isso pode ser obtido através do engajamento em programas e desafios nacionais orientados por missões concretas e relevantes em termos regionais e nacionais; bons exemplos são encontrados tanto nos setores estruturantes como estratégicos explorados anteriormente.

As instituições acadêmicas e entidades ligadas à engenharia, tendo à frente a Academia Nacional de Engenharia, devem explicitar sua prontidão em fazer frente a novos desafios tecnológicos, de modo que o setor industrial seja encorajado a empregar os avanços tecnológicos na inovação de seus produtos e processos, aumentando a competitividade das empresas. Engenheiros brasileiros precisam ser estimulados e encorajados a empreender e inovar. Instrumentos de fomento à inovação devem ser fortalecidos e ampliados para oferecer as garantias e o apoio necessários para a saudável convivência com o risco e os desafios tecnológicos, tão necessários ao processo de inovação.

*“A inovação voltada às demandas e problemas específicos de uma região deve ser incentivada.”*

Ao explorar a contribuição da engenharia nacional na geração de riqueza, na produção de impacto na economia nacional e redução das desigualdades, atenção especial precisa ser dada a criação de empresas emergentes de base tecnológica e a inovação de interesse regional voltada às demandas e problemas específicos de uma região.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente documento é uma breve contribuição para a discussão recorrente sobre o papel da engenharia na construção do futuro do nosso país.

Há muitos documentos e reflexões importantes que abordam as possibilidades e as perspectivas para a engenharia nacional e aqui houve o objetivo de que esse texto não se tornasse repetitivo ou redundante. Houve também um esforço para produzir um documento original e convincente, além de estratégico e focado na realidade nacional. O texto é sensível aos problemas e fragilidades do país, além de incluir oportunidades e diferenciais de competitividade para a engenharia nacional.

A Academia Nacional de Engenharia (ANE), se posiciona como uma defensora da engenharia no país, para que esta continue a contribuir para a qualidade de vida dos cidadãos, para a geração de riqueza para o Brasil e para o bem-estar do planeta. Neste contexto, a ANE se propõe a estar sempre em sintonia com as transformações cada vez mais rápidas das engenharias e, também, com a implementação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, com os quais o Brasil se comprometeu, assim como alinhado com os princípios ambientais, sociais e de governança que norteiam o ESG.

## AGRADECIMENTOS

Durante a preparação desse texto o Grupo de Trabalho sobre o Futuro da Engenharia entrevistou diversas personalidades de destaque na engenharia nacional: Mauro Kern (EMBRAER), Wilson Ruggiero (USP), Henrique Malvar (Microsoft), João Irineu Medeiros (FIAT/Stellantis), Rubens Menin (MRV), Flávio Grynspan (iCORPS) e José Fernando Xavier Faraco (DÍGITRO). A contribuição desses líderes foi de grande importância para as ideias e propostas aqui expressas. O Grupo de Trabalho agradece também a Ana Catarina Chagas de Mello Freire pelo trabalho de revisão do texto.

---

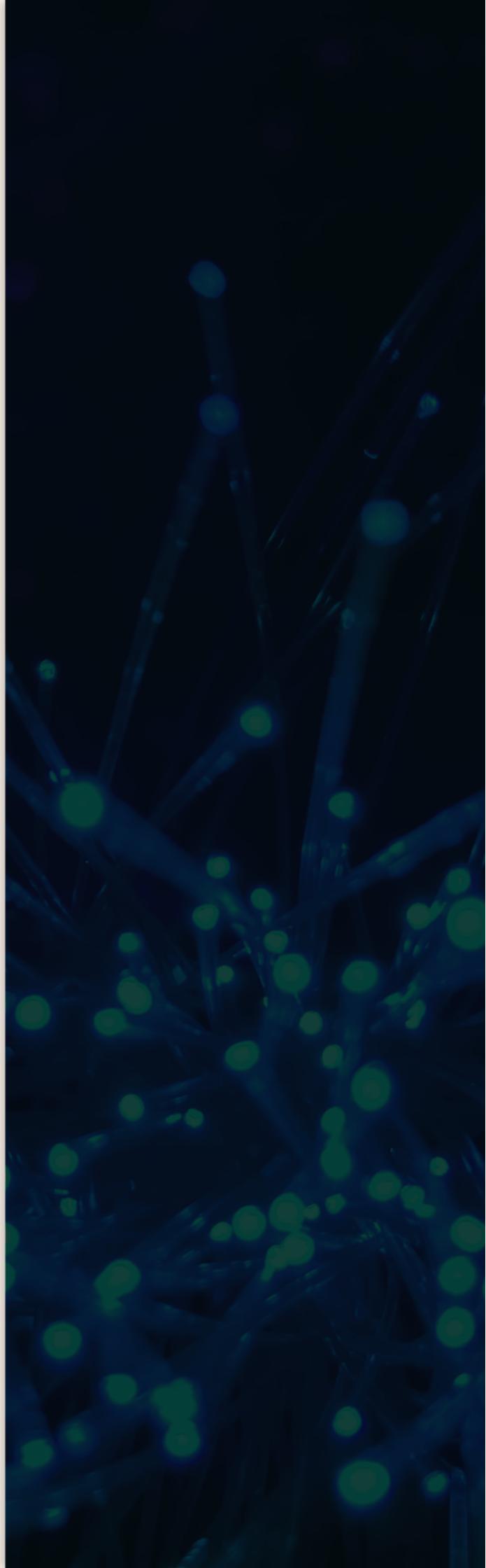
**Grupo de Trabalho sobre o Futuro  
da Engenharia – Academia Nacional  
de Engenharia (ANE)**

- Alvaro Toubes Prata
- Edson Hirokazu Watanabe
- Virginia Sampaio Teixeira Ciminelli
- José Roberto Boisson de Marca (Coordenador)

---

**Projeto Gráfico e diagramação**

- Pedro Armando





**ANE BRASIL**  
ACADEMIA  
NACIONAL DE  
ENGENHARIA

Avenida Rio Branco, nº124 - 1.303  
Centro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil  
Tel: +55 21 2221 0404

<http://anebrasil.org.br>  
[administrativo@anebrasil.org.br](mailto:administrativo@anebrasil.org.br) | [imprensa@anebrasil.org.br](mailto:imprensa@anebrasil.org.br)

 [academianacionaldeengenharia](#)

 <https://bit.ly/youtubeanebrasil>

ANE BRASIL