
15

NOVAS TECNOLOGIAS PARA O SÉCULO XXI

TRÊS ÁREAS EM QUE O BRASIL DEVE INVESTIR
SE DESEJA ASSUMIR POSIÇÃO COMPETITIVA
NOS MERCADOS GLOBAIS

Se a pesquisa básica é a raiz do conhecimento científico, as tecnologias são seus frutos. Nas décadas futuras, eles surgirão a partir das perguntas respondidas nas instituições de pesquisa, motivados pelos grandes desafios que a humanidade enfrenta ou enfrentará, como produção de alimentos, insumos para saúde, energia limpa, dispositivos eletrônicos superiores e novos materiais. A corrida por novas soluções tecnológicas para esses e outros desafios é global, mas especialmente relevante para o Brasil.

Um dos maiores problemas da economia brasileira é sua crescente perda de competitividade, em especial nos setores de média e alta intensidade tecnológica. A carência de tecnologias corre o risco de atrasar, ainda, o agronegócio, uma das principais atividades produtivas brasileiras, que poderia ser beneficiada por uma série de avanços em biotecnologia, por exemplo, como sugerido no **Capítulo 6**. Além de produtos, o país precisa repensar sua forma de produzir energia, como já foi discutido no **Capítulo 10** deste livro. A saúde, tema do **Capítulo 2**, é outra área em que as novas tecnologias podem promover uma verdadeira revolução.

Em todos esses setores, para manter ou assumir posição de destaque no cenário global, o Brasil precisará promover a modernização de seus parques industriais, com a implementação de uma política industrial arrojada e eficiente e investimentos maciços em ciência, tecnologia e inovação, além de recursos para a capacitação de pessoal em nível de pós-graduação nas áreas científicas e tecnológicas. Embora sejam muitas as áreas temáticas que podem se beneficiar desse processo, a ABC selecionou três temas de impacto para o futuro próximo: ciência dos dados, inteligência artificial e cibersegurança; novos materiais e novos dispositivos; e biologia de sistemas e biotecnologia. A seguir, algumas sugestões para o fortalecimento dessas áreas no Brasil.

CIÊNCIA DOS DADOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

As tecnologias digitais têm imenso potencial transformador, capaz de gerar benefícios sociais e econômicos. Elas podem revolucionar o trabalho, a educação, o lazer, a comunicação e a própria maneira de se fazer ciência. Têm, portanto, um papel chave no desenho do futuro do país.

TECNOLOGIAS PARA UM BRASIL MAIS RICO

As tecnologias computacionais – e, em particular, a inteligência artificial – podem ter impacto no aumento de produtividade e na inovação em áreas-chaves da economia brasileira, como a agricultura e o setor de petróleo. Recentemente, a Embrapa, junto com a iniciativa privada, desenvolveu tecnologia baseada em inteligência artificial para análise de solos, capaz de produzir resultados em poucos segundos. Já a colaboração entre universidades e a Petrobras, em projetos de pesquisa e desenvolvimento com uso de inteligência artificial, criou soluções inovadoras para a indústria do petróleo, em áreas como análise de reservatórios, projeto de *layout* submarino, exploração e produção.

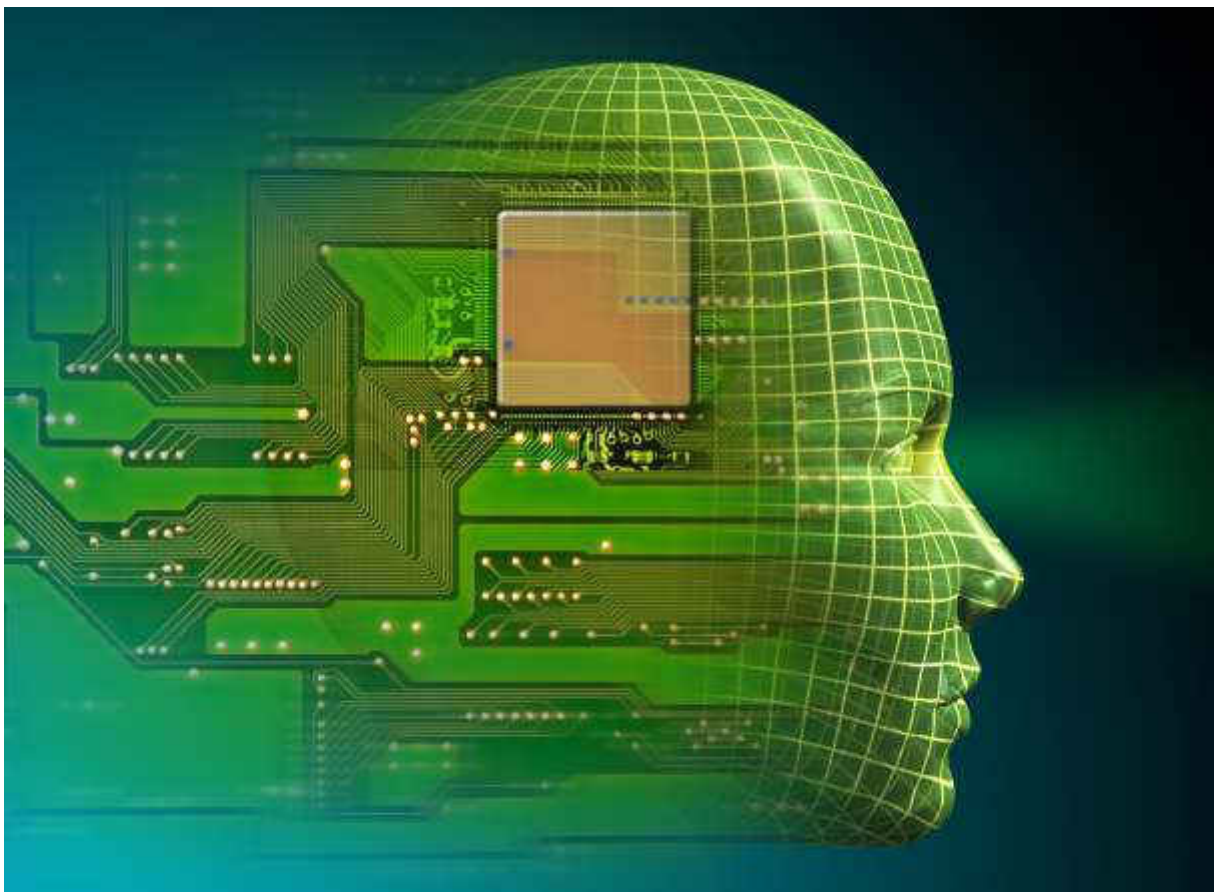
Trabalhos em computação geram resultados teóricos e aplicados que podem contribuir para o aumento da produtividade e da prosperidade econômica, para a melhoria das oportunidades educacionais e da qualidade de vida e para a maior segurança interna do país. Por isso, é fundamental que o Brasil invista recursos em pesquisas avançadas nessas áreas, como também na formação de capital humano qualificado.

CIÊNCIA DOS DADOS

Dados digitais fazem parte de praticamente todas as atividades intelectuais. Na comunidade científica, a pesquisa tem se baseado em dados digitais gerados por equipamentos e também dispositivos eletrônicos que permeiam a sociedade contemporânea. O uso e a análise de dados digitais têm ampliado as abordagens fundamentais da ciência, sejam elas teóricas ou baseadas em processos experimentais. Na indústria, no comércio e nos serviços, os dados digitais têm sido a base para o desenvolvimento de tecnologias disruptivas, geradoras de riqueza e de novos modelos de negócios. Em suma, a explosão de dados digitais tem causado transformações em todas as áreas da economia e da sociedade. Como resultado, surgiu um novo campo de estudos: a ciência dos dados, que consiste em processos e sistemas que permitem a extração de conhecimentos de várias formas de dados, estruturados ou não. Trata-se de um campo multidisciplinar que integra conhecimentos de algoritmos, estatística, mineração de dados e modelos matemáticos. Seu desenvolvimento é cada vez mais crucial para a educação e para a comunidade científica. Assim, o país precisa ter planos para formar uma força de trabalho de profissionais capazes de usar dados para suas tarefas intelectuais. Além disso, é preciso buscar o avanço do campo da ciência de dados, de modo a apoiar o papel crescente dos dados digitais em todas as áreas da ciência e da sociedade.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ROBÓTICA

Pesquisa, educação e formação de recursos humanos são fundamentais para o desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de realizar uma ampla variedade de tarefas inteligentes e para o desenvolvimento de modelos computacionais de comportamento em todo o espectro da inteligência humana. Alguns exemplos de tópicos relacionados a sistemas inteligentes incluem agentes inteligentes, aprendizado de máquina, *deep learning*, metodologias de representação do conhecimento e arquiteturas para combinar tarefas inteligentes como percepção, raciocínio, planejamento, aprendizado e ação. Muitos desses temas serão essenciais para o diagnóstico e a tomada de decisão em domínios complexos de tarefas em vários campos, como medicina, engenharias, ciências sociais e humanas. Máquinas inteligentes e robôs já superaram os humanos no desempenho de várias tarefas relacionadas à inteligência, por exemplo, no reconhecimento de imagens, em certos tipos de diagnósticos médicos, na previsão de eventos futuros ou no controle dos carros autônomos. O efeito central da evolução acelerada da inteligência artificial virá da automação de tarefas que até então não podiam ser automatizadas, com a substituição de mão de obra humana por robôs, máquinas inteligentes, algoritmos e *softwares*.





ALGORITMOS

O eixo fundamental para o avanço da ciência dos dados e da inteligência artificial está centrado nos algoritmos. Assim, é fundamental apoiar a pesquisa básica em algoritmos, complexidade e otimização. Deve-se, também, apoiar o desenvolvimento de algoritmos para outras áreas da computação, como criptografia, linguagens, compiladores, segurança de computadores e redes. Algoritmos voltados para grandes massas de dados são também chave para o desenvolvimento de bases de dados, robótica, visão computacional, redes de sensores, dispositivos móveis, internet e aprendizado de máquinas. A pesquisa em algoritmos deve contemplar, ainda, outras áreas da ciência, como compreensão de sistemas biológicos por meio da modelagem, simulação e desenho de algoritmos e desenvolvimento de técnicas e metodologias para obter conhecimento sobre os sistemas biológicos na sua totalidade, incluindo a estrutura dos genes, a descoberta de proteínas de genes e a análise de sequências genéticas. Novas áreas, como a computação quântica, irão necessitar de novas classes de algoritmos.





CIBERSEGURANÇA

A dependência cada vez mais acentuada da internet e das redes de comunicação mostra que a segurança cibernética é central para a estabilidade, a prosperidade e a competitividade do país e para a segurança da sociedade brasileira. Na medida em que as infraestruturas críticas do país, como energia elétrica, sistema financeiro, transportes e comunicações, se tornam dependentes de redes públicas e privadas, o potencial de impacto generalizado resultante da interrupção ou da falha da internet também aumenta significativamente. Ataques de vírus e outros tipos de *malware* podem ocasionar prejuízos enormes. Por isso, é fundamental avançar em pesquisas que abordem a complexidade e as constantes mudanças nos cenários virtuais. Seria importante, por exemplo, modelar como as pessoas aplicam ou usam tecnologias de segurança, com o objetivo de criar sistemas de defesa mais racionais e inteligentes. O Brasil precisa de ciência e tecnologia para construir proteções eficazes para o ciberespaço brasileiro.



NOVOS MATERIAIS E DISPOSITIVOS

Na história da humanidade, costuma-se nomear os períodos de evolução com o nome dos materiais desenvolvidos pelo homem – assim, houve a idade da pedra, a idade do bronze e a idade do ferro. O desenvolvimento nas técnicas de manufatura de materiais como metais, cerâmicas e vidros pode ser considerado uma das formas mais antigas de engenharia e ciência aplicada. Nos últimos séculos, foram desenvolvidos novos tipos de materiais, como o aço e os plásticos, que se encontram na maioria dos produtos utilizados no dia a dia da população. Com o desenvolvimento da nanotecnologia, tem sido possível produzir novos materiais com propriedades ainda superiores às dos materiais convencionais, que serão amplamente usados nas tecnologias das próximas décadas.

Quanto ao desenvolvimento de dispositivos, um dos maiores avanços do século XX foi a criação do transistor, elemento básico de um dispositivo eletrônico. Mais tarde, o uso do silício propiciou uma grande revolução da eletrônica e da informática. Outros materiais semicondutores propiciaram o desenvolvimento dos chamados LEDs (diodos emissores de luz) e dos lasers compactos, que estão cada vez mais presentes em diferentes tipos de produtos. Mas, para que a revolução na informática continue com o mesmo padrão de crescimento, será necessário desenvolver novos tipos de dispositivos eletrônicos mais rápidos e eficientes do que os atuais. É fundamental que o Brasil domine as técnicas de projetar e fabricar novos tipos de dispositivos, fundamentais para desenvolver novas tecnologias.

ENERGIA

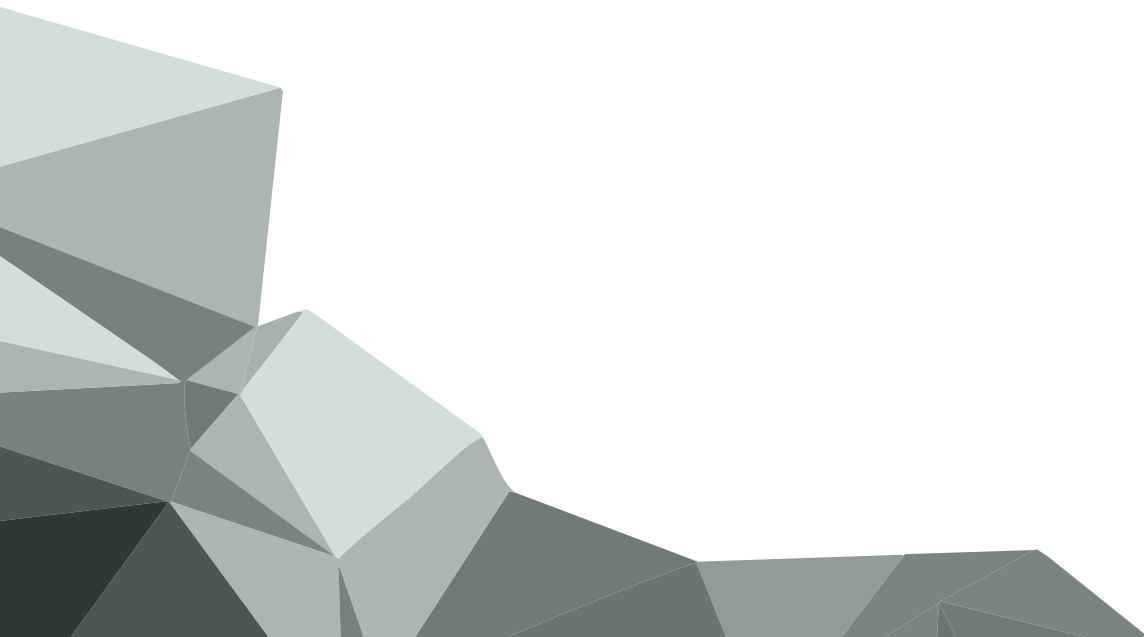
A energia é dos problemas mais importantes a serem enfrentados hoje pela humanidade. Nesse sentido, um enorme desafio é a geração de energia limpa e renovável, que não faça uso de recursos fósseis como petróleo, gases, carvão e outros. A geração de novos dispositivos e materiais tem um papel crucial na superação desse desafio, pois ainda hoje as formas de geração de energia limpa são menos eficientes e mais caras do que as convencionais, o que leva à necessidade de explorar novas soluções tecnológicas. Além da produção de energia, seu armazenamento e sua distribuição também podem se beneficiar de novas tecnologias. Dispositivos que transformem energia solar em energia elétrica, novas baterias e materiais supercondutores são alguns exemplos de inovações promissoras. Para o sucesso dessas alternativas, são necessários investimentos em pesquisa nas áreas de dispositivos conversores e armazenadores de energia e, sobretudo, nos materiais ativos e passivos que compõem esses dispositivos.

NOVOS MATERIAIS

O avanço de novas tecnologias está intimamente ligado ao desenvolvimento de novos materiais, que superem os atuais em termos de propriedades ou de produção ambientalmente e economicamente sustentável. Plásticos, cerâmicas, vidros e metais podem ser aperfeiçoados, por exemplo, com o auxílio das nanotecnologias. É o que acontece nos nanocompósitos, misturas bastante homogêneas de diferentes tipos de nanomateriais (como nanotubos, nanopartículas, grafeno etc.) com materiais convencionais (plásticos, cerâmicas, cimento etc.). Essa mistura confere aos materiais novas propriedades, como flexibilidade e resistência, que são úteis em várias aplicações industriais. Espera-se, ainda, o desenvolvimento de novos materiais supercondutores que sejam usados em temperaturas ambientes e possam auxiliar o armazenamento de energia e o desenvolvimento de uma nova geração de equipamentos, como aparelhos de ressonância magnética e outros.

USO EFICIENTE DOS RECURSOS NATURAIS

Em um mundo de população crescente, o uso racional dos recursos naturais é necessidade de primeira ordem. A ciência e a tecnologia podem contribuir para o aproveitamento eficiente desses recursos, a começar pela mensuração precisa de sua disponibilidade. Modelos para simulações de caráter preditivo também auxiliam a gestão de longo prazo. A otimização dos processos industriais, minimizando o consumo específico dos insumos (água, energia, matérias-primas e outros), com ampliação do reuso e da reciclagem, bem como do aproveitamento de subprodutos e de rejeitos, é outra área de destaque, além da agregação de valor aos recursos naturais como minerais e biodiversidade, com desenvolvimento de produtos com maior conteúdo tecnológico e novos materiais. Novas tecnologias são necessárias, ainda, para a ampliação e a sustentabilidade do agronegócio, preservando a saúde do solo e minimizando o impacto ambiental. A química e a engenharia de processos e de produtos assumem um papel fundamental em todas essas aplicações. A chamada química verde é baseada em matérias-primas provenientes de fontes renováveis, e cujo produto final não impacte o meio ambiente – por exemplo, evitando a formação de subprodutos tóxicos e poluentes e fomentando a fabricação de materiais biodegradáveis.



DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E *HARDWARES* PARA COMPUTAÇÃO

O elemento básico de um processador é o transistor, e os atuais dispositivos eletrônicos são baseados em materiais de silício. O número de transistores em um processador tem crescido de forma exponencial nas últimas décadas – um processador de última geração tem, hoje, mais de um bilhão de transistores –, o que só é possível porque, a cada ano, consegue-se diminuir o tamanho do transistor, que hoje é de poucas dezenas de nanômetros. Um transistor é constituído de várias partes, e algumas delas já são tão pequenas que contêm alguns poucos átomos. Assim, a compactação da tecnologia de transistores baseados no silício está chegando no limite atômico. Por isso, será necessário o desenvolvimento de novos tipos de dispositivos que venham a substituir os atuais processadores e circuitos integrados. Esse processo passará pela nanotecnologia e por dispositivos com maior desempenho e menor consumo de energia do que os atuais. Vários estudos têm sido dedicados a moléculas que possam desempenhar a função de um transistor. Por outro lado, os materiais unidimensionais, como os nanotubos de carbono, e bidimensionais (2D) com espessuras atômicas, como o grafeno e outros, serão uma rota para o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos mais eficientes. Essas novas tecnologias possibilitarão também o desenvolvimento de sensores químicos e sensores de gases. A computação quântica, baseada em novos tipos de algoritmos não binários e que fazem uso de propriedades quânticas, também vai requerer o desenvolvimento de dispositivos físicos. Outras áreas que impactarão a tecnologia serão baseadas no *spin* dos elétrons (propriedade elementar associada ao magnetismo) e nos fótons (partículas de luz). Dispositivos flexíveis, baseados em materiais orgânicos, novos diodos emissores de luz (LEDs) e novos sensores para biodiagnósticos estão, ainda, no alvo do desenvolvimento tecnológico.

BIOLOGIA DE SISTEMAS E BIOTECNOLOGIA

Com o grande aumento na quantidade de informações sobre as células e o avanço na capacidade de analisar grande volume de dados, a biologia de sistemas passou ser uma estratégia de pesquisa dominante na medicina, na biologia e na biotecnologia. Ela procura entender e prever o comportamento de sistemas biológicos em resposta a diferentes perturbações, como, por exemplo, o contato com um patógeno, uma vacina, um câncer ou uma droga, ou mesmo uma mudança no ambiente da célula.

CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Todos os avanços tecnológicos devem ser acompanhados de pesquisas sobre segurança, em especial no caso da edição de genes, que envolve a manipulação e o espalhamento de novos genes nas populações. É imprescindível, nesse contexto, o debate sobre questões éticas na medicina, principalmente nas pesquisas de manipulação de embriões e do uso de células-tronco. Paralelamente ao estímulo ao desenvolvimento dessas novas tecnologias no país, as agências reguladoras e outros órgãos governamentais, juntamente com a sociedade, precisam estar atentos para que essas pesquisas sejam desenvolvidas sob condições que garantam a sua segurança e eficácia. Portanto, a definição de um marco regulatório no país é também condição fundamental para que as pesquisas e aplicações desta tecnologia possam se tornar realidade.

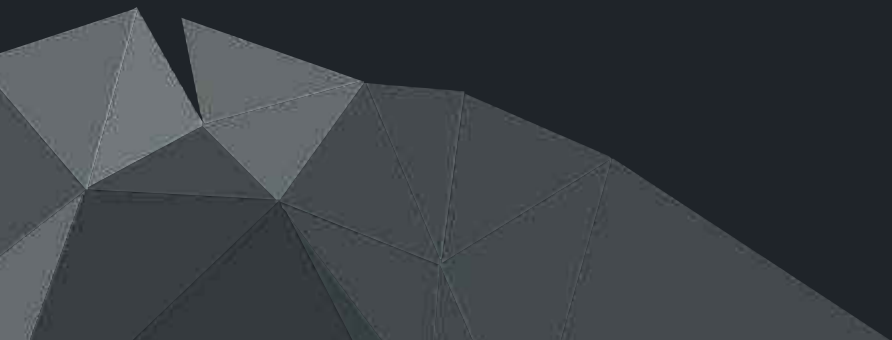
Multidisciplinar, a biologia sistêmica envolve modelagem computacional e matemática para integrar dados de expressão global de genes (transcriptoma), proteínas (proteoma) e vias metabólicas (metaboloma). Baseado na ideia de que o todo é maior do que a soma das partes, este ramo do conhecimento procura avaliar, ao mesmo tempo, todos os componentes de um sistema biológico e como eles interagem entre si. Assim, permite grandes avanços no entendimento de como uma célula ou sistemas complexos funcionam, como é o caso da resposta imunológica contra um patógeno ou de circuitos neuronais envolvidos no processo de cognição. Como consequência, a biologia de sistemas passou a ter grande impacto no desenvolvimento de novas tecnologias, assim como no desenvolvimento de insumos biológicos e novos fármacos.

GENÔMICA

Desde a década de 1950, sabemos que a molécula de DNA é o material genético dos seres vivos. A partir daí, o conhecimento da genômica avançou rapidamente, até que, em 2003, o Projeto Genoma Humano anunciou um grande marco nessa área, a descrição completa dos genes da espécie. Atualmente, a tecnologia já permite a análise de genomas em uma questão de dias e com baixo custo. Porém, novos desafios surgiram. Foi estabelecido recentemente o mapa epigenômico humano, que permitirá definir o papel de alterações epigenéticas (ou seja, aquelas que não alteram a sequência do DNA, mas que são importantes mudanças nos genomas responsáveis pela regulação da expressão dos genes). Embora todas as células de um organismo possuam o mesmo genoma, falta entender como o aumento ou a diminuição da expressão de cada gene varia entre elas, o que vai elucidar os processos responsáveis pela diferenciação celular que leva à formação dos organismos multicelulares, ao envelhecimento ou ao aumento da resistência ou da susceptibilidade às doenças. Pesquisas sobre o transcriptoma e o proteoma das células têm permitido, por sua vez, grandes avanços na identificação e na caracterização funcional de genes, muitos dos quais envolvidos em doenças humanas hereditárias. Novas tecnologias tornam possível, ainda, o diagnóstico simultâneo de várias doenças infecciosas e a identificação de mutações e variantes genéticas para confirmação do diagnóstico ou avaliação da predisposição ou resistência a enfermidades em humanos, animais ou plantas.

MANIPULAÇÃO E EDIÇÃO DE GENOMAS

Uma vez conhecidos a estrutura dos genomas e os mecanismos básicos do seu funcionamento, os cientistas passaram a desenvolver metodologias que lhes permitiram manipular, de forma controlada, o genoma das células, com o objetivo de entender como funcionam as células e reprogramá-las para produzir novas substâncias, impedir o aparecimento de uma determinada característica, corrigir erros ou mutações indesejáveis etc. Graças a técnicas de engenharia genética, desde os anos 1990, já é possível produzir vários medicamentos a partir de bactérias e outras células, desenvolver variedades de plantas resistentes a pragas, produzir alimentos com maior valor nutricional e detectar doenças com mais rapidez e acurácia. A recente descoberta de uma tecnologia revolucionária denominada CRISPR-Cas9, que permite a introdução, substituição ou remoção de sequências específicas no DNA em basicamente qualquer organismo, permitirá avanços ainda mais espetaculares nas pesquisas básicas sobre o genoma, como, por exemplo, o entendimento do papel de muitos genes cuja função ainda não foi esclarecida. CRISPR-Cas9 tem ainda enorme potencial de aplicação em várias áreas e deve assumir, nas próximas décadas, um papel central nas pesquisas voltadas para o controle e o tratamento de doenças e no desenvolvimento de novos produtos agropecuários.



MICROSCÓPIOS DE SUPER-RESOLUÇÃO E SISTEMAS DE IMAGEM *IN VIVO*

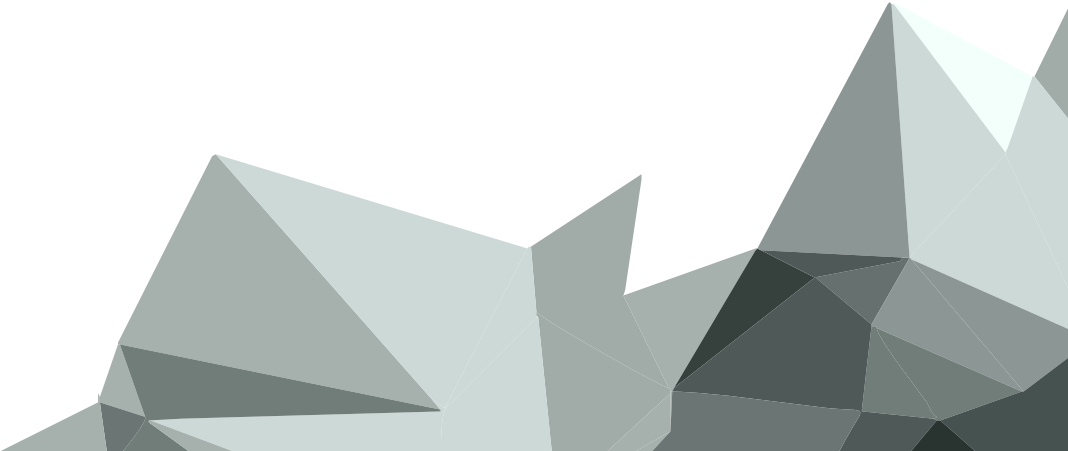
Avanços em microscopia e computadores para o processamento de imagens, como a microscopia confocal multifóton e a criomicroscopia eletrônica, permitiram a visualização de eventos e estruturas dentro de tecidos vivos, numa resolução cada vez maior. Possibilitaram, portanto, a visualização de células e organelas não mais em um tubo de ensaio ou em uma lâmina, mas sim dentro de seu contexto natural, isto é, nos organismos vivos. Associadas à tecnologia recombinante e à geração de animais e plantas transgênicos que expressam marcadores fluorescentes, as técnicas de imagem permitem visualizar, por exemplo, a troca de informação célula-célula durante uma resposta inflamatória, filmar diferentes células se movimentando por vasos sanguíneos e até medir o trânsito de receptores da superfície celular. O uso de sistemas de imagem não invasivos permite a visualização do organismo em uma abordagem sistêmica durante vários dias ou meses, o que pode ajudar a esclarecer como diferentes medicamentos ou parasitos e células tumorais se distribuem pelo corpo ao longo do tempo. Recentemente, uma técnica revolucionária permitiu tornar os tecidos de um animal transparentes e, assim, visualizar órgãos ou sistemas inteiros expressando proteínas fluorescentes. Além de permitir o avanço no entendimento de processos biológicos *in vivo*, esta técnica é compatível com tecidos humanos, e pode ser prontamente usada em várias aplicações biomédicas.

CÉLULAS-TRONCO, ENGENHARIA DE TECIDOS E TRIAGEM DE DROGAS

Uma das grandes descobertas da última década foram as células de pluripotência induzida (iPS, na sigla em inglês), técnica em que uma célula já diferenciada pode ser reprogramada e tornar-se pluripotente, ou seja, capaz de diferenciar-se em qualquer tecido. Pesquisas com essas células irão revolucionar a medicina regenerativa. Mais recentemente, mostrou-se também que células-tronco adultas, as chamadas células-tronco mesenquimais, secretam proteínas com efeito terapêutico, o que abre caminho para outras tantas aplicações. A possibilidade de gerar diferentes tecidos e, futuramente, órgãos a partir de células iPS do próprio indivíduo, aliando biologia celular e bioengenharia, é promissora para substituir os transplantes por meio da reconstituição de tecidos danificados, sem risco de rejeição. A tecnologia de reprogramação celular, juntamente com a tecnologia de CRISPR-Cas9, permite pesquisar diferentes estratégias de terapia gênica e correção de mutações responsáveis por doenças genéticas, incluindo o câncer. Além disso, a triagem de inúmeras drogas, utilizando tecnologias em larga escala, permitirá avanços muito mais rápidos na descoberta de novos medicamentos contra doenças que atingem um tecido específico (por exemplo, neurônios dopaminérgicos na doença de Parkinson), com uso reduzido de pesquisas em modelos animais.

MODELOS ANIMAIS HUMANIZADOS

Uma das mais importantes aplicações da tecnologia de edição gênica utilizando CRISPR-Cas9 está no avanço nos projetos de humanização de modelos experimentais, assim como no transplante de órgãos entre animais de espécies distintas (xenotransplante). Atualmente, grande parte dos esforços voltados para a humanização de modelos experimentais tem se baseado na implantação de células e órgãos humanos em camundongos imunodeficientes. Porém, frequentemente, o funcionamento do tecido transplantado não ocorre de forma adequada, como é o caso do sistema imunológico, ou a implantação ocorre de forma parcial. Com a emergência do sistema CRISPR, torna-se possível a manipulação em larga escala de genes em modelos experimentais, com a introdução de ou substituição por genes humanos, o que deve permitir um avanço na criação de melhores modelos humanizados. Esses modelos irão permitir não só o entendimento do funcionamento de sistemas e órgãos humanos, mas também ensaios pré-clínicos para testes de drogas e vacinas com maior capacidade de predição e aplicação para o seu funcionamento em seres humanos. Além disso, espera-se que a humanização de suínos gere grandes avanços na área de xenotransplantes, ao possibilitar a substituição de genes suínos por genes humanos, levando, assim, a uma maior compatibilidade entre o órgão transplantado e seu doador.



IMUNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DE VACINAS

A biologia de sistemas aplicada ao desenvolvimento de vacinas, ou vacinologia de sistemas, é uma área que emergiu na última década e tem dado importantes contribuições para aumentar o poder preditivo da imunologia. Seus estudos estão permitindo a identificação de antígenos críticos de patógenos ou células tumorais, novos adjuvantes imunológicos e também o melhor entendimento dos mecanismos de defesa do organismo humano. Em consequência, espera-se avançar no desenvolvimento racional de novas vacinas, assim como no aumento da segurança e da eficácia das vacinas existentes.

DIAGNÓSTICO

Grandes avanços na medicina e, em particular, na área de diagnóstico têm sido possíveis graças ao acúmulo de dados (*big data*) oriundos dos projetos “ômicos” que permitem, por exemplo, identificar sequências únicas no genoma provenientes de patógenos ou mutações associadas a doenças hereditárias humanas. A associação com as novas tecnologias obtidas pela física e pela ciência dos materiais está produzindo resultados importantes para o diagnóstico de inúmeras doenças por meio de testes rápidos capazes de detectar múltiplas doenças. Graças ao desenvolvimento tecnológico, hoje é possível distribuir dispositivos de diagnóstico rápido e preciso para uma série de doenças a áreas isoladas e com pouca infraestrutura laboratorial. Literalmente, é um laboratório em um *chip*, ou seja, todas as etapas necessárias para a realização de um teste de diagnóstico convencional são integradas em um dispositivo automatizado. Com esse sistema, é possível diagnosticar, com uma gota de sangue, de maneira precisa e em poucos minutos, um quadro febril exantemático, uma infecção viral ou um quadro de sepse em infecção hospitalar, para citar apenas alguns exemplos. Além das aplicações no diagnóstico de doenças infecciosas, esses testes têm amplas aplicações no diagnóstico de síndromes respiratórias, doenças genéticas e câncer, além de aplicações na medicina personalizada, que utiliza informações genéticas individuais para coordenar e melhorar as decisões de cuidados de saúde e tratamento para o paciente.

REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS

Nos últimos anos, o Brasil conseguiu avançar em áreas de pesquisa de ponta. Por exemplo, a comunidade científica brasileira acompanhou o desenvolvimento das novas tecnologias utilizadas em projetos de genoma, transcriptoma e proteoma. Mas, se, por um lado, há massa crítica formada na área, por outro, é importante que o parque de equipamentos disponíveis não fique defasado. É, portanto, fundamental a adequação da infraestrutura para que seja possível – usando um exemplo da mesma área – assimilar técnicas sequenciamento de nova geração, o que viabilizaria pesquisas sobre mudanças epigenéticas e estudos a partir de material genético extraído de uma única célula. Da mesma forma, o aprimoramento da infraestrutura necessária para a utilização de técnicas de citometria de fluxo associadas a espectrometria de massa e técnicas de imageamento será fundamental para que os grupos no país possam ampliar os estudos voltados para o entendimento de sistemas complexos *in vivo*.

INVESTIR É PRECISO

Anualmente, o governo federal dos Estados Unidos investe US\$ 31 bilhões (0.9% do PIB) nos Institutos Nacionais de Saúde (NIH, na sigla em inglês), responsáveis pelo financiamento de toda pesquisa na área da saúde do país. Este valor não inclui os investimentos de pesquisa no setor de agropecuária.

Se aplicássemos o mesmo percentual do PIB no caso do Brasil, isso corresponderia a um investimento anual de R\$ 13 bilhões para o desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação nas áreas biomédicas e de biotecnologia. Considerando a realidade brasileira, incluindo a massa crítica existente, mas também o atraso tecnológico e a infraestrutura altamente defasada, é razoável pensar que um investimento anual em torno de R\$ 12 bilhões, distribuídos entre os ministérios de Educação, Saúde, Agricultura e Ciência e Tecnologia, poderiam ter grande impacto nos programas de pesquisa científica, tecnológica e de inovação na área de saúde e agronegócio.

A biologia experimental no Brasil está altamente defasada quanto à capacidade de gerar modelos experimentais transgênicos ou *knockouts*. Mas essa situação pode ser revertida, por exemplo, com o estabelecimento de competência na área de edição gênica pela tecnologia CRISPR-Cas9, associado à melhoria das condições de trabalho para a criação e a manutenção de animais de experimentação. Essa mudança trará benefícios não somente para os grupos que dependem da biologia experimental básica, mas também para grupos que buscam desenvolver modelos experimentais e suínos humanizados com aplicações diretas nas áreas de saúde e agropecuária. Com relação ao desenvolvimento de vacinas, além das metodologias já descritas, é fundamental a implantação de plantas para a produção de partidas pilotos de antígenos recombinantes em boas práticas de laboratório. Para que ensaios clínicos possam ser feitos com maior frequência no país, é importante também ampliar o número de laboratórios que possam realizar testes de toxicidade pré-clínicos.

Em relação à área de dispositivos e novos materiais, nos últimos anos, foram criados vários laboratórios em diferentes regiões do Brasil, com instrumentos sofisticados para a análise de materiais e dispositivos, como microscópicos eletrônicos e outros. Todos esses equipamentos necessitam de manutenção, e é fundamental que não faltem recursos para que essa infraestrutura esteja sempre em operação. Como já mencionado neste livro, está em fase final de construção o projeto Sirius, nova fonte de luz síncrotron brasileira que será a maior e mais complexa infraestrutura científica já construída no país. É fundamental que se destine os recursos necessários para que o Sirius entre em funcionamento no prazo previsto. Além disso, é também necessária a criação de infraestruturas modernas de salas limpas para a fabricação de dispositivos em escala nanométrica.

Por fim, como em muitos outros setores, na criação de novos dispositivos e materiais é fundamental que haja maior interação entre os trabalhos realizados na academia e as demandas concretas do setor industrial. Deve ser estimulada a criação de centros de tecnologia que façam a ponte entre esses dois mundos, com foco em produtos em que já há um interesse imediato de uma empresa. Tais centros visariam otimizar o aumento da escala de laboratório para a escala industrial, além de viabilizar comercialmente o produto, por meio da diminuição de custos dos insumos e processos. Ainda no contexto da interação entre empresa e indústria, vale ressaltar que as procuradorias jurídicas das instituições federais precisam ter visão de longo prazo, considerando que a transferência de tecnologias geradas nessas instituições para empresas privadas pode resultar em grandes ganhos para ambas.

A ABC acredita que já existem, nas universidades e institutos de pesquisa brasileiros, profissionais competentes em todas as disciplinas necessárias para o estabelecimento dessas novas tecnologias. Faltam, entretanto, investimentos governamentais para a melhoria da infraestrutura e, para as etapas de desenvolvimento tecnológico, um maior interesse por parte do setor produtivo. Para que o Brasil avance no mesmo passo dos países desenvolvidos na criação de novas tecnologias, é essencial criar programas específicos voltados para os temas descritos neste capítulo, com garantia de recursos não somente para melhorar a infraestrutura dos laboratórios, mas também recursos de custeio e bolsas de estudos para que jovens pesquisadores possam obter esse treinamento no país ou no exterior e desenvolver pesquisas de qualidade, com garantia de financiamento em médio e longo prazos.

Para o fortalecimento desta área, são necessários investimentos na criação de programas de formação e pesquisa com focos específicos. A ABC sugere como prioridades as seguintes iniciativas:

1

Criar um programa nacional para formação multidisciplinar em nível de pós-graduação em ciência dos dados;

2

Desenvolver programa de pesquisa com foco em ciência de dados e suas aplicações em outras áreas da ciência (por exemplo, biomédicas, engenharias, saúde, ciências agrárias, física, química e ciências sociais e humanas);

3

Instituir um programa nacional de formação e pesquisa para algoritmos e tecnologias para inteligência artificial, em áreas como aprendizado de máquina e *deep learning*;

4

Implementar um programa nacional e multidisciplinar para pesquisa em cibersegurança envolvendo áreas como engenharias, computação, matemática, física e ciências sociais;

5

Aumentar o investimento em pesquisa e desenvolvimento na área de novos materiais e nanodispositivos, sem comprometer os investimentos em ciência básica, por meio de editais universais;

6

Fortalecer programas conjuntos entre a academia e empresas, financiados por fundos não reembolsáveis, como o Fundo Tecnológico (Funtec) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES);

7

Fomentar a criação de cursos de empreendedorismo nos cursos de pós-graduação;

8

Criar um programa nacional para formação multidisciplinar, em nível de pós-graduação, em nanotecnologia, que supere as barreiras clássicas da ciência natural em física, química e biologia;

9

Fortalecer diferentes grupos em todas as regiões do Brasil, em vez de concentrar recursos em alguns poucos centros do Sudeste;

10

Fortalecer e aumentar programas de formação na área de bioinformática e aprendizado de máquina, que, com o avanço da biologia de sistema e a análise de *big data*, passaram a ter papel central na biomedicina;

11

Investir na formação de pessoal e na indução de pesquisa na área de manipulação e edição gênica em vertebrados;

12

Formar pessoal e melhorar a infraestrutura para o desenvolvimento de animais geneticamente modificados e humanizados – uma área extremamente carente, que representa, hoje, uma das grandes barreiras para o desenvolvimento de pesquisa de ponta em biomedicina no Brasil;

13

Implementar redes nacionais multidisciplinares para fortalecer infraestrutura e programas de pesquisa que utilizem microscópios de super-resolução, imageamento *in vivo* e *lab-on-chip* envolvendo áreas como engenharias, computação, matemática, física e ciências biológicas.

SUGESTÕES PARA LEITURA

ABARRATEGI, A. et al. Modeling the human bone marrow niche in mice: From host bone marrow engraftment to bioengineering approaches. **The Journal Of Experimental Medicine**, [s.l.], v. 215, n. 3, p.729-743, 16 fev. 2018. Rockefeller University Press. <<http://dx.doi.org/10.1084/jem.20172139>>.

ATWATER, H. A.; POLMAN, A.. Plasmonics for improved photovoltaic devices. **Nature Materials**, [s.l.], v. 9, n. 3, p.205-213, 19 fev. 2010. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nmat2629>>.

BOHANNON, J.. The cyberscientist. **Science**, [s.l.], v. 357, n. 6346, p.18-21, 6 jul. 2017. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.357.6346.18>>.

BRYNJOLFSSON, E.; MITCHELL, T.. What can machine learning do? Workforce implications. **Science**, [s.l.], v. 358, n. 6370, p.1530-1534, 21 dez. 2017. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <<http://dx.doi.org/10.1126/science.aap8062>>.

BUBNOVA, O.. Nanoelectronics: A 2D microprocessor. **Nature Nanotechnology**, [s.l.], 5 maio 2017. Springer Nature.
<<http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2017.94>>.

GEIM, A. K.; GRIGORIEVA, I. V.. Van der Waals heterostructures. **Nature**, [s.l.], v. 499, n. 7459, p.419-425, jul. 2013. Springer Nature.
<<http://dx.doi.org/10.1038/nature12385>>.

HEEREMA, S. J.; DEKKER, C.. Graphene nanodevices for DNA sequencing. **Nature Nanotechnology**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.127-136, fev. 2016. Springer Nature.
<<http://dx.doi.org/10.1038/nnano.2015.307>>.

HOCKEMEYER, D.; JAENISCH, R.. Induced Pluripotent Stem Cells Meet Genome Editing. **Cell Stem Cell**, [s.l.], v. 18, n. 5, p.573-586, maio 2016. Elsevier BV.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.stem.2016.04.013>>.

LIBBRECHT, M. W.; NOBLE, W. S.. Machine learning applications in genetics and genomics. **Nature Reviews Genetics**, [s.l.], v. 16, n. 6, p.321-332, 7 maio 2015. Springer Nature.
<<http://dx.doi.org/10.1038/nrg3920>>.

LU, W.; LIEBER, C. M.. Nanoelectronics from the bottom up. **Nature Materials**, [s.l.], v. 6, n. 11, p.841-850, nov. 2007. Springer Nature. <<http://dx.doi.org/10.1038/nmat2028>>.

MALTA, T. M. et al. Machine Learning Identifies Stemness Features Associated with Oncogenic Dedifferentiation. **Cell**, [s.l.], v. 173, n. 2, p.338-354, abr. 2018. Elsevier BV.
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2018.03.034>>.

MAZUTIS, L. et al. Single-cell analysis and sorting using droplet-based microfluidics. **Nature Protocols**, [s.l.], v. 8, n. 5, p.870-891, 4 abr. 2013. Springer Nature.
<<http://dx.doi.org/10.1038/nprot.2013.046>>.

NAKAYA, H. I.; PULENDRAN, B.. Vaccinology in the era of high-throughput biology. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 370, n. 1671, p.20140146-20140146, 11 maio 2015. The Royal Society.
<<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0146>>.

NATURE METHODS (EDITORIAL). Method of the Year 2015. **Nature Methods**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.1, jan. 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nmeth.3730.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2018.

NATURE.COM. **CRISPR**. 2016. Disponível em: <<https://www.nature.com/collections/cpzkgghnlg/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

NATURE.COM. **Nanocomposites**. Disponível em: <<https://www.nature.com/subjects/nanocomposites>>. Acesso em: 01 maio 2018.

NATURE.COM. **Systems biology**. Disponível em: <<https://www.nature.com/subjects/systems-biology>>. Acesso em: 01 maio 2018.

SCIENTIFIC REPORTS. **2D Materials and Heterostructures**. 2018. Disponível em: <<https://www.nature.com/collections/lbtcvbtfpj/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

THE ROYAL SOCIETY. **Machine learning**: the power and promise of computers that learn by example. London: The Royal Society, 2017. 128 p. Disponível em: <<https://royalsociety.org/~media/policy/projects/machine-learning/publications/machine-learning-report.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2018.