insumos químicos no campo. Por conseqüência, menos entradas de máquinas nas lavouras e proporcional redução nos riscos de erosão do solo, bem como o uso mais racional de agroquímicos.

Para se ter uma idéia sobre a mudança graças às atuais culturas geneticamente modificadas, os agricultores estão deixando de aspergir milhões de litros de inseticidas. Levantamentos feitos na região do Cotton Belt, nos EUA, indicaram que graças ao algodão Bollgard deixou-se de pulverizar o equivalente a 1 milhão de litros de inseticidas na safra de 1997. Colocada em galões de 30cm, essa quantidade formaria uma fila de 70km de extensão.

As culturas tolerantes a herbicida não seletivo estão permitindo a substituição de produtos de forte toxicidade por um herbicida biodegradável, não-cancerígeno, que não deixa resíduos no solo para afetar a lavoura seguinte.

Futuro sustentável

Esses já são ganhos significativos e inegáveis. Mas não esgotam o potencial da biotecnologia. Em sua primeira fase, essa técnica se propõe a solucionar na semente diversos problemas que hoje são corrigidos durante o cultivo – e dessa forma tornar a agricultura mais sustentável.

No futuro, novas ondas evolutivas serão proporcionadas pela biotecnologia, como a incorporação de melhorias nutricionais, com alimentos de maior teor de proteínas por exemplo. Ou um café naturalmente descafeinado. A batata com menor teor de água, que conseqüentemente absorve menos óleo ao ser frita, também está na pauta dos futuros lançamentos.

Espera-se ainda um terceiro ciclo, de alimentos funcionais que permitam o combate a doenças ou carências nutricionais. Por fim, a biotecnologia deve nos levar à descoberta de biocombustíveis, que nos libertem definitivamente da dependência dos combustíveis fósseis.

Negar os alimentos geneticamente alterados equipara-se à recusa da vacina, que efetivamente ocorreu no início do século. Hoje ninguém nega seus benefícios para a saúde pública.

Quando se trata de biotecnologia, é preciso muita cautela – para que o medo e o obscurantismo não nos levem a negar o progresso.

A passos largos

A marcha da ciência não pode ser contida pelo desconhecimento do método científico e outras impropriedades leigas

JOAQUIM MACHADO

A etnobotânica trata da evolução do conhecimento das plantas do ponto de vista de seu potencial alimentício, estimulante ou farmacológico pelo ser humano. A civilização humana contemporânea, de expressão cultural predominantemente simbólico-metafórica e ancorada na tecnologia, racionaliza essa busca constante do alimento e da cura.

O *homo sapiens* metropolitano é hoje observador superficial das profundas modificações genéticas promovidas nos vegetais mediante processos que desde o início visaram às necessidades e ao desejos do consumidor.

Plantas e comportamento

Os humanos sempre tiveram uma relação ambígua com as plantas, que lhes servem de alimento e estimulante, de onde extraem medicamentos, às vezes de caráter mágico, outras até transpondo a tênue linha divisória entre o efeito tóxico e o letal.

Assim, as plantas estão desde sempre relacionadas aos mecanismos fisiológicos e comportamentais da espécie humana, e podem também ser estudadas do ponto de vista da ecologia química.

Nesse longo período de convivência e evolução do conhecimento, o egoísmo biológico do *homo sapiens* sempre soube ponderar as necessidades nutricionais com cautela, diante de reações orgânicas e de origem psicológica, como a neofobia ou aversão ao novo, por exemplo.

Em muitos casos, vegetais tóxicos aos humanos passaram a ser processados ou combinados de forma não ortodoxa, como ocorre na geofagia, em que o indivíduo ingere terra.

Tais alimentos, estimulantes e fármacos poderiam ter sido dispensados na dieta e na cura. Entretanto continuam sendo utilizados, evidenciando que desejos e necessidades são fatores de igual importância na cultura humana. A eles se deve o desenvolvimento de tecnologia apropriada para a utilização de muitos vegetais aparentemente dispensáveis do ponto de vista nutricional e medicinal.

Joaquim Machado *é chefe de Projetos Especiais em Biotecnologia da Novartis Seeds Ltda., São Paulo.*

Apropriação do conhecimento

As fronteiras entre a dieta e a cura explicam a ambigüidade do homem em sua relação com as plantas, e as reações diferentes às tecnologias atuais que promovem avanços significativos em medicina e em nutrição.

Nenhum vírus *engenheirado* para terapia gênica recebeu da interpretação leiga títulos como *enigma de Andrômeda* ou similares. Entretanto modificacões genéticas extremamente simples, de resto já experimentadas pela natureza ao longo do período de vida no planeta, promovidas em vegetais importantes para a dieta humana, são chamadas *frankenfood*.

Isso não representa novidade na cultura humana. Uma das mais significativas expressões de neofobia é o reconhecimento de plantas por meio de sinais de alerta lingüístico, do tipo comigo-ninguém-pode, urtiga brava etc. São meios de apropriação de conhecimento, que utilizam mecanismos ligados à imagem e à imaginação.

Têm surgido sugestões de que se pratique um melhoramento de plantas alternativo, que dispense a utilização das tecnologias do DNA recombinante. Essas sugestões não encontram suporte lógico, dadas as recentes evidências sobre as profundas modificações na estrutura genética fina obtidas apenas com seleção fenotípica, desde o Neolítico.

Ademais, as recentes tecnologias de tratamento de texto desenvolvidas para a recombinação genética *in vitro* (evolução direcionada) tornam o reconhecimento de espécies com base nas classificações taxinômicas atuais matéria em revisão, revogando conceitos vagos tais como "essência da vida", "gene alienígena" e similares.

O HOMEM SEMPRE TEVE uma relação ambígua com as plantas, que lhe servem de alimento e estimulante, de onde extrai medicamentos, às vezes de caráter mágico, outras até transpondo a linha divisória entre o efeito tóxico e o letal.

Produtos-plataforma

Os consumidores sempre preferem adquirir produtos-plataforma, isto é, aqueles que oferecem mais de uma solução num só produto e ação de compra. A biotecnologia oferece esse tipo de produto, num fenômeno similar ao da área de informática.

Da mesma forma, as tecnologias de engenharia genética mais e mais demonstram estar se tornando maduras e portanto mais acessíveis, conforme se observa no *marketing* de produtos e processos em biotecnologia.

Os produtos transgênicos caracterizam uma tendência contemporânea de comercialização de produtos-plataforma, que oferecem várias soluções com apenas uma operação de venda. A tendência para o futuro próximo é oferecer *gene-stacks*, ou seja, produtos que possuam mais de uma modificação genética, como por exemplo, resistência a herbicida, a um ou mais insetos-praga e a uma ou mais doenças.

Facilidade para o agricultor

O agricultor tem então facilitada a sua aquisição de valores para a produção da safra. Esse tipo de produto já é comum em informática, onde pacotes aplicativos oferecem um editor de texto, uma planilha de cálculo e um editor de arte, numa só operação de venda.

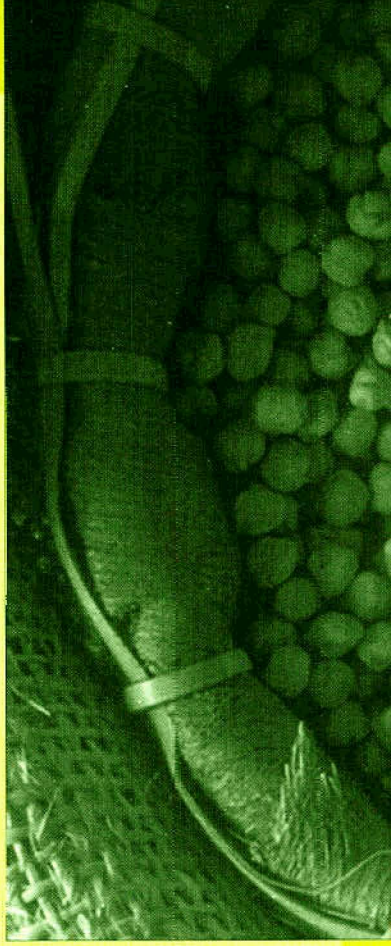
Os produtos da engenharia genética para biomedicina e nutrição são o enriquecimento dos alimentos em carboidratos, proteínas e lipídios, assim como vitaminas e novos compostos bioativos, tais como as isoflavonas de soja modificadas, denominados de nutricêuticos e alimentos funcionais.

Os avanços promovidos pela engenharia genética caracterizam-se recentemente pela *comoditização* de processos e equipamentos, o que indica um mercado maduro para a aplicação dessa tecnologia.

Ciências da vida

Por seu turno, as grandes empresas ligadas à biomedicina (as *big pharma*) reestruturam-se profundamente de maneira a incorporar no processo produtivo os impressionantes avanços científicos e tecnológicos obtidos na pesquisa universitária e nas pequenas empresas de alta tecnologia que orbitam o *campus*. Elas atuam como *links* entre a pesquisa universitária e as grandes companhias.

As grandes empresas organizam-se como companhias de ciências da vida, evidenciando a profunda integração de tecnologias promovida pela genética e pela biologia molecular. Essa nova revolução industrial incorpora contribuições oriundas da informática, da nanotecnologia, da robótica e da física estatística em máquinas de raciocínio genético as quais, de fato, provêem um meio físico para o tratamento da informação: genética como física da informação.



Assim, um novo modelo mercadológico já está implantado em engenharia genética. *Biology goes to business*, não apenas no sentido da comercialização de produtos de origem biológica, como principalmente no sentido de que a tecnologia biológica já está disponível e em comercialização no sistema econômico mundial.

Transgênicos, portanto, conquanto paradigmáticos como produto, representam apenas um passo rumo ao impressionante conjunto de soluções definitivas que a genética tem a oferecer.

Novos conceitos

Em farmacologia – e quase simultaneamente em nutrição e dieta alimentar –, uma nova geração de produtos, os quais incorporam a individualidade genotípica humana em seu *design*, baseia-se em tecnologias



e conceitos genéticos ainda em desenvolvimento, tais como DNA *shuffling technology* e *protein space opportunities*.

O primeiro coloca simplesmente em revisão toda a conceituação clássica sobre diversidade genética, ao permitir não apenas a manipulação gênica conforme se conhece, como também a promoção de diversidade semântica no texto informacional do DNA. O melhoramento molecular (*molecular breeding*) já é uma realidade, inclusive em nível empresarial.

O segundo demonstra a importância do acaso e da pressão de seleção na atividade protéica, uma vez que a informação unidimensional codificada no DNA é traduzida num espaço multidimensional.

Assim, a farmacologia clássica e de vetores virais para a terapia gênica conta agora com uma tecnologia definitiva para a compreensão de sítios protéicos específicos, exigindo também uma revisão profunda de todos os procedimentos convencionais em terapêutica.

Avanços na área médica

Esse desenvolvimento fundamental para a qualidade da vida humana é agora possível, dada a capacidade operacional em seqüenciamento genômico providenciada pela recente geração de seqüenciadores automáticos, permitindo a identificação dos SNPs (*single-nucleotide polymorphisms*), revolucionários para o diagnóstico, a prevenção e o tratamento médico. Eles permitem a individualização genotípico-fenotípica de pacientes, personalizando a ação de fármacos e vetores virais em terapia gênica.

É também possível, dado o advento dos *microarrays* e *DNA chips*, um tratamento massivo e em tempo real de funções gênicas complexas.

Sabe-se hoje, muito mais que 10 anos atrás, que os seres vivos continuamente drenam informação para dentro de seus sistemas operacionais, com o intuito de preservar suas funções. Afirma-se que a única tecnologia real por trás de todas as tecnologias é a linguagem. Nunca antes, portanto, a ciência ofereceu tantas contribuições socioculturais, e nunca antes foi tão desafiadora como oportunidade para a atividade humana.

Ao incorporar em seu arsenal analítico a física estatística, a genética oferece a melhor plataforma para a utilização do método científico na compreensão fenomenológica, à qual nossa espécie é tão dedicada. Possibilita também, como nunca antes, a ocorrência de áreas de sobreposição com a metafísica e portanto, com a religião. É compreensível, portanto, que

Os consumidores preferem adquirir produtos-plataforma, aqueles que oferecem mais de uma solução num só produto e ação de compra. A biotecnologia oferece esse tipo de produto, num fenômeno similar ao da área de informática.

debates teatrais, historicamente clássicos, sejam reeditados.

Reeditando a natureza

Os avanços em genética transcendem a transgênese, ao valer-se de modificações de caráter fundamentalmente informacional no DNA.

Reducionismo ou não, o fato é que se conhece suficientemente bem a evolução molecular para que se compreenda que as diferenças entre os seres vivos são muito mais de forma que de essência. Os seres vivos são metáforas biológicas. Conceitos como "genes alienígenas", "poluição do *pool* gênico", "violação da essência da vida", alimento "alterado" etc. são pertinentes ao imaginário.

Uma simples revisão sobre viroses endógenas demonstra a imensa capacidade experimental da natureza, em escala de tempo geológica. Há que se dedicar mais tempo e capacidade ao estudo de uma disciplina tão elegante e matematicamente complexa quanto a genética de populações, se se quer contribuir para o conhecimento da engenharia genética.

Moderadores de risco

Óbvia e conceitualmente, produtos gênicos podem fazer bem ou mal, conforme a intenção e o direcionamento. Entretanto, o mercado e suas regras de segurança alimentar na comercialização são excelentes moderadores do risco. Que nunca será zero, conceito incompatível com a vida no planeta.

A espécie *homo sapiens* sabe disso e a ciência se dedica a essa compreensão. A ética relacionada ao uso do conhecimento – um problema já no Éden – depende muito mais do controle da ignorância e da opressão, que do estabelecimento do princípio de precaução em biologia.

Não se verifica a mesma preocupação com esse princípio em ciências humanas, com suas hipóteses experimentais em pedagogia, por exemplo. Eventualmente, as razões para isso podem ser encontradas no embate da sociobiologia com o método científico aplicado à biologia molecular.

Liberdade para a ciência

A engenharia genética gera excelentes oportunidades para um debate saudável e de elevado nível cultural com a sociedade. Oportunidades como essa permitem afirmar que, como sempre na história da humanidade, a ignorância e a opressão têm de fato causado danos reais e riscos prováveis à espécie.

O conhecimento do bem e do mal nos é facultado pelo livre arbítrio. No mais, a ciência continuará. Reprimi-la pelo desconhecimento do método científico, invocando risco zero e outras impropriedades leigas, é correr o risco de, neste país ou em qualquer outra parte, comprovar a antítese da bela sentença de Sófocles: "Será noite quando ficarmos sabendo quão esplêndido foi o dia."