

Como a Engenharia Genética pode transformar o futuro do setor rural, biológico e tecnológico

Felipe Dalla Vecchia Lourenço – felipedallavl@gmail.com
Departamento de Engenharia Mecânica – CTC – UFSC
88.040-900 – Florianópolis – SC

Reinaldo Abad Junior – reinaldoabadjr@gmail.com
Departamento de Engenharia Mecânica – CTC – UFSC
88.040-900 – Florianópolis – SC

RESUMO

Apresentamos neste artigo uma rápida visão expositiva a respeito dos desenvolvimentos recentes e futuros da engenharia genética no mundo, com o intuito de esclarecer ao leitor sobre a importância da mesma no papel de modificar o curso do desenvolvimento tecnológico bem como de influenciar a maneira como nós vivemos e nos relacionamos com o ambiente. Para tal, resumimos algumas notícias que obtivemos através de uma profunda pesquisa, separando as que consideramos mais relevantes. Em seguida, as compilamos no presente texto, objetivando propagar algumas informações interessantes acerca do tema de maneira simples e objetiva, para que os leitores agucem sua curiosidade relativa à engenharia genética e se motivem a estudar o assunto por conta própria posteriormente.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia genética; Tecnologia; Futuro.

INTRODUÇÃO

Pesquisando sobre a engenharia genética é surpreendente descobrir o quanto ela pode mudar o futuro. Quando pensamos em tecnologia, é comum que venha a nossa cabeça alguns dispositivos eletrônicos, robôs, inteligência artificial, computação, entre outros. No entanto, os desenvolvimentos recentes da engenharia genética mostram que esta área é tão potente moldadora das tecnologias futuras quanto estas anteriormente citadas. A modificação do material genético de bactérias e outros organismos para sintetizar os mais variados produtos e até dispositivos já é uma realidade, e com avanços futuros, será cada vez mais utilizada daqui para frente.

Desde muitos séculos o ser humano vem selecionando e mudando alguns organismos, geralmente da agropecuária, de modo a que desenvolvam características convenientes. Porém o que se nota agora é o início de uma era em que a modificação de seres vivos deixará de ser um mero auxílio, para se tornar algo central, e até essencial, na decorrência da humanidade. Neste presente artigo aprofundaremos algumas tecnologias que serão implantadas no futuro, ou que já são implantadas agora, mas não ainda em escala comercial, para expor a ideia do quão impactante no nosso cotidiano e na maneira como vivemos podem ser os avanços nesta área, um tanto ignorada pelos idealistas futuristas. Alguns dos campos tratados aqui serão nas áreas da pesquisa, medicina, biotecnologia industrial, tecnologia, rural e claro, engenharia.

Portanto, ao ler este artigo devemos sempre lembrar que alterar o DNA das espécies como bem queiramos, é quebrar uma barreira nunca vista na história, e obter uma ferramenta absurdamente forte para o progresso humano bem como do entendimento sobre a vida. E tal barreira está cada vez mais próxima de ruir.

ALIMENTOS TRANSGENICOS

A transgenia é um processo pelo qual organismos de uma espécie são modificados geneticamente através da introdução de material genético de outra espécie, utilizando técnicas de engenharia genética. Assim, os alimentos transgênicos são os alimentos derivados normalmente de sementes e plantas cujos materiais genéticos tenham sido modificados com o intuito de obter benefícios tanto para as plantações (resistência a herbicidas, produção de toxinas contra pragas das culturas agrícolas) quanto para os consumidores (aumento da qualidade nutricional ou produção de substâncias medicinais).

Também chamadas de “plantas adaptadas ao ambiente”, em lugar da dependência de adubos, de inseticidas, a biotecnologia possibilita mais proteção biológica das plantas e melhoria das espécies. Não há estudos que confirmem a transferência de genes de plantas transgênicas para o meio ambiente. Além disso, eventuais problemas com alimentos transgênicos levariam a que os mesmos fossem retirados do mercado. O menor custo nos gastos de produção agrícola se associa à maior produtividade e rentabilidade das lavouras e ao crescimento uniforme das plantas. Promovendo a diminuição de herbicidas e inseticidas ou até mesmo dos agrotóxicos. O que mais agride o meio ambiente e a saúde humana é a excessiva aplicação desses produtos. As plantas transgênicas permitirão reduzir drasticamente essa prática. Diminuem os custos, aumenta a produção e se eliminam problemas ambientais. Porém, mesmo com alguns estudos científicos aplicados nesse tema, ainda há muita divergência sobre seus benefícios ou malefícios.

ANIMAIS GENETICAMENTE MODIFICADOS

Outro grande avanço que envolve a engenharia genética, são os animais geneticamente modificados, os quais são definidos como animais cujos genomas foram artificialmente alterados por meio de técnicas de engenharia genética. Tais alterações podem produzir a introdução, modificação ou inativação de um ou mais genes alterando a expressão de tais genes em parte ou na totalidade das células de tais animais, inclusive as germinativas, de tal forma que as alterações sejam transmitidas aos descendentes. As técnicas atuais de engenharia genética permitem vários tipos de alterações no genoma e, portanto, a possibilidade de geração de diferentes modelos desenhados de acordo com as especificações da pergunta científica. Atualmente, existem vários tipos de modelos destes animais produzidos por meio de técnicas ou tecnologias recombinantes, os modelos mais frequentes são:

Animal/modelo transgênico: É um animal que carrega um transgene, ou seja, um segmento de DNA é incorporado ao seu genoma que induzirá a superexpressão de determinado gene. Este modelo tem sido usado com o objetivo de conhecer a função de genes, explorar processos fisiológicos específicos relacionados a este gene bem como a modulação da expressão da proteína em diferentes tecidos. Existem várias técnicas para a geração deste modelo, entre elas a microinjeção pronuclear (inserção aleatória do transgene ou recombinação não-homóloga), infecção com vetores retrovirais ou por meio de vetores específicos (inserção sítio específica ou recombinação homóloga).

Animal knockout/knockin (KO): É um animal em cujo genoma ocorreu a inativação ou deleção de um gene (knockout) ou a modificação de um gene (knockin). As técnicas utilizadas para a geração destes modelos permitem, portanto, a inativação de genes.

MEDICINA GENOMICA PREDITIVA

Esta técnica consiste no conhecimento do mapa de predisposições genéticas de cada indivíduo permite ajustar o ambiente ao seu genoma e assim prevenir o aparecimento das doenças. O futuro da medicina está na terapia genética. Por meio dela, será possível saber do futuro estado de saúde. Através da decodificação dos genes presentes na molécula de DNA, será possível estabelecer melhor os diagnósticos de doenças e elaborar novos prognósticos. Algumas doenças ou predisposições poderão ser eliminadas, no futuro.

Pode-se pensar nos problemas de memória, surdez, distrofia muscular, diabetes, câncer, problemas cardíacos e tantos outros. Afinal, todas as funções fisiológicas e morfológicas dependem, de alguma forma, dos genes. Ter uma predisposição a uma determinada doença não significa ser

doente, mas fazer a prevenção e assumir cuidados para evitar os fatores desencadeantes da doença, retardando o seu aparecimento ou curando-a na sua origem. Através da engenharia genética, estaremos, pela primeira vez, tratando uma doença, antes mesmo que ela se manifeste.

REMÉDIOS “SOB MEDIDA”

Cada organismo responde a seu modo à utilização de remédios, pois cada organismo é diferente, e os remédios que fazem efeito sobre um organismo são, em muitos casos, ineficazes em outros. Existem também pacientes alérgicos a determinadas substâncias que, a princípio, deveriam ajudá-los, mas acabam aumentando o risco de vida ou crises.

Dessa forma, conhecendo o código genético de cada pessoa, poder-se-ão criar remédios na medida exata da necessidade do organismo de cada paciente, em vez de aplicar doses comuns, assim como os compostos químicos adequados e proporcionais. A maioria dos medicamentos faz efeito em apenas parte da população, e outros podem até mesmo prejudicar o paciente. O código genético permite saber o efeito real. Essa “personalização” dos remédios pode custar caro. A eficiência, certamente, é a grande vantagem.

TERAPIA CELULAR (GENETERAPIA)

As novas e promissoras técnicas na área de terapia celular se destacam mesmo no século XXI, com a possibilidade concreta de se estabelecer no seu início as bases da medicina regenerativa, promessas de cura para doenças crônico-degenerativas de praticamente todos os tecidos corporais, incluindo o coração e os demais órgãos internos. Esta promessa se faz com base nas propriedades plásticas das células-tronco embrionárias e do indivíduo adulto que seriam, a partir das evidências iniciais, capazes de regenerar todas as células e tecidos corporais.

Os pais podem transmitir doenças genéticas aos filhos. Nesse caso, podem ser realizados tratamentos hormonais ou correções genéticas nas células reprodutivas de pais potenciais, isto é, terapias gametócitas (óvulo e espermatozoide). Algumas pessoas e famílias também poderão decidir não ter filhos. O mapa genético ajudará a eliminar doenças e mortes de recém-nascidos.

Pode-se também falar de geneterapia, ou seja, a introdução numa célula de um gene que realiza corretamente sua função, devido à presença de um que é defeituoso. Nesse caso, o gene deverá ser homólogo, isto é, da própria pessoa. Fala-se também de cirurgia genética, que consiste na remoção do gene defeituoso e o acréscimo do gene normal que deverá realizar as funções do gene substituído.

POSSIBILIDADE DE CURA DO CÂNCER

O câncer não é uma doença única, mas um conjunto de condições que afetam cada indivíduo de maneira distinta, exigindo uma abordagem personalizada. Durante muitos anos, os alicerces do seu tratamento eram a cirurgia, a quimioterapia e a radioterapia. Nas últimas duas décadas, terapias-alvo como o imatinibe e o trastuzumabe também se consagraram como tratamentos padrões para diversos tipos de câncer. Mas, recentemente, a imunoterapia tem se destacado na comunidade oncológica no tratamento antineoplásico.

Uma técnica de engenharia genética, imunoterápica que vem se desenvolvendo rapidamente é chamada de transferência adotiva de células (ACT), conhecidas popularmente como uma “droga viva”. Este processo consiste na coleta e no uso de células imunes do próprio paciente para tratar seu câncer. Segundo explica a hematologista Juliane Musacchio, PhD e Mestre em Hematologia pela UFRJ, as ACT são células T do receptor geneticamente modificadas e manipuladas in vitro para expressar o domínio de ligação do antígeno a partir de um receptor de células B. Como resultado, o reconhecimento de um antígeno específico da superfície celular ativa a resposta das células T, independentemente de outros mecanismos, ou seja, a célula T se torna mais reativa a antígenos específicos.

Explicando de forma mais didática, um tumor é feito de células mutantes, com código genético modificado. Essas células produzem proteínas diferentes, que acionam o sistema imunológico, então Glóbulos brancos são enviados ao local do tumor, guiados por essas proteínas, com função de destruir o câncer, porém são paralisados pelo tumor e não conseguem reagir. A

radioterapia e a quimioterapia são tratamentos poderosos. Mas seria mais eficiente “reativar” os glóbulos brancos, para que eles próprios combatem o câncer.

Esta técnica começou a ser colocada em prática, por pesquisadores da Universidade Stanford, que descobriram dois agentes que, quando injetados diretamente em um tumor, fazem as células de defesa do paciente “reativar” e eliminar o tumor. A técnica de engenharia genética que eliminou completamente o câncer em 87 dos 90 ratos de laboratório em um dos testes realizados, tem a vantagem de combater também as metástases – tumores menores resultantes do original, que se formam em outras partes do corpo.

Tratamentos para o câncer que ativam o sistema imunológico são chamados imunoterapias, e várias delas já são aplicadas em hospitais. Uma das modalidades desenvolvidas recentemente envolve retirar glóbulos brancos do paciente, usar engenharia genética para editá-los em laboratório e então injetá-los “reativados” de volta no corpo. Outra envolve ativar o sistema imunológico inteiro, e não só as células da região em que está o tumor, porém pode causar efeitos colaterais.

O primeiro teste foi feito em 90 ratos com linfoma (câncer no sistema linfático). 87 deles foram curados na primeira tentativa, os três restantes, na segunda tentativa. Animais com melanoma, câncer de mama e câncer colorretal reagiram igualmente bem. Como o tratamento só depende do câncer já ter sido identificado pelo sistema imunológico, ele provavelmente funciona em todas as situações. Além dos ótimos resultados, uma grande vantagem da dupla de agentes é que um já foi aprovado para uso humano, e o outro se saiu bem em diversos testes clínicos. Se eles forem tão eficazes para nós quanto são para os camundongos, é provável que a nova solução seja colocada em prática em breve.

ENVELHECIMENTO

Já foram identificados alguns genes e respectivas mutações que permitem prolongar a vida de vários seres vivos. Um deles é o gene *daf-2*. Uma modificação desse gene permite mais do que duplicar o tempo de vida de um verme (*C. elegans*), de 30 para 65 dias. Existe um gene correspondente nos seres humanos e algumas pessoas que por acaso têm uma mutação natural nesse gene parecem viver mais tempo.

Para aplicar esse gene em outra pessoa, usa-se uma técnica de engenharia genética, chamada de CRISPR (Clustered regularly interspaced short palindromic repeats). São padrões que se repetem no DNA de bactérias e que contêm entre eles sequências de DNA de vírus que infectam essas bactérias. É uma espécie de cadastro, que permite às bactérias manterem um registro de invasores conhecidos. Este sistema de defesa tem um segundo componente que, na posse da identificação de um intruso (vírus), corta-se o seu DNA em pedaços, esse processo é feito por uma enzima chamada Cas.

Usando este sistema, podemos editar o DNA de qualquer organismo. Quando o DNA é aberto, é possível manipular o processo de auto reparação das células para que o fragmento de DNA substituto seja o alvo. Na prática, é possível substituir um gene defeituoso que causa uma doença por uma cópia saudável. Isso já foi feito em ratos de laboratório, em culturas de células e em embriões humanos. Há várias maneiras de fazer chegar estas ferramentas de terapia genética ao interior das células-alvo. Podem ir à boleia de um vírus ou dentro de cápsulas de nanopartículas.

TECNOLOGIA PLASMÍDICA

Uma das principais técnicas que vem ocorrendo na engenharia genética, consiste na tecnologia plasmídica. Ela é tão importante que está sendo tomada como o início da microbiologia industrial moderna.

Plasmídeos são partes de material genético dispersos nas células das bactérias, que só são incorporados em seu DNA principal, ou seja, ativados, em situações específicas quando lhe é conveniente. E os cientistas aprenderam a extrair os genes de um organismo, seja planta, animal, ou até fungos, e colocá-los em uma dessas bactérias na forma de plasmídeos. O resultado é que a bactéria passa a sintetizar a substância que até então, só seria possível ser produzida pelo outro organismo, aquele que doou seu material genético.

Algumas possíveis aplicações desta tecnologia estão: a síntese de insulina, que ajuda a tratar pessoas com diabetes (que não a fabricam por ter um gene defeituoso), sendo que a insulina produzida pelas bactérias é idêntica à humana. É ainda possível a síntese de vacinas (como a da febre aftosa); e hormônios, como é o caso do de crescimento, utilizado para tratar o nanismo, eritropoetina (faz com que o corpo produza glóbulos vermelhos), interferon (auxilia a resposta imune a alguns cânceres); antibióticos. Fora da área médica, existe o uso de plasmídeos da levedura, que faz com que bactérias ajudem na produção de queijo e na fermentação da cerveja, e a produção da quimosina, uma substância que ajuda na indústria de laticínios.

Indo ainda mais longe, cientistas estão pesquisando maneiras de fazer o inverso: colocar DNA bacteriano dentro das células de plantas, de modo que elas sejam capazes de retirar nutrientes do N₂, presente no ar, e dispensarem o uso de fertilizantes nitrogenados.

BIOCOMBUSTÍVEIS

A gasolina pode muito bem ser o combustível do futuro. Empresas localizadas na Califórnia, EUA, já estão conseguindo através de manipulação genética de bactérias fabricar os mais diferentes tipos de hidrocarbonetos, compostos primários do petróleo e por consequência da gasolina.

O método de obtenção destes hidrocarbonetos consiste em fabricar um material genético 100% artificial, já mapeado em computador para função. E contando com a capacidade natural de algumas bactérias (como a E. Coli) de aderir o material genético externo e utilizá-lo em si, os cientistas estão sendo capazes de colocar este DNA sintético dentro das bactérias e fazerem elas sintetizarem os mais diferentes tipos de compostos orgânicos, entre eles a gasolina.

Além da vantagem de obter gasolina e outros combustíveis derivados do petróleo como renováveis, há também o fato de que tais combustíveis muitas vezes são inclusive de melhor qualidade, uma vez que sintetizados possuem menos impurezas. O resultado é tão bom que daqui há alguns anos, a produção de gasolina bacteriana pode ser até mais benéfica ao meio ambiente do que o próprio etanol, uma vez que este possui bem menos energia e ainda há gastos com a destilação.

As metas globais de substituição de combustíveis fósseis daqui há algumas décadas podem ser facilmente alcançadas pelos países se o projeto for ampliado para produzir hidrocarbonetos em massa. E indo mais longe, o mesmo caminho pode ser tomado para a produção de plástico, solventes e detergentes.

DEGRADAÇÃO DO PETRÓLEO E DO LIXO

Outra aplicação ambientalmente favorável da engenharia genética se deu após a descobertas de algumas espécies de bactérias que degradam petróleo naturalmente. Elas são capazes disso por, após absorverem o óleo, produzir uma enzima capaz de quebrá-lo em outras substâncias. A engenharia genética aqui está em arranjar modos para extrapolar o potencial destas bactérias, seja aumentando a produção destas enzimas, seja aumentando a reprodução e rapidez com que agem estas bactérias.

O mesmo acontece com o plástico: cientistas descobriram em uma usina de reciclagem no Japão, uma bactéria que se alimenta exclusivamente do PET. Ela é capaz de degradar uma folha fina em apenas 6 semanas, o que é surpreendente levando em consideração que o PET leva centenas de anos para se decompor espontaneamente. E o mais interessante é que isto demonstra como a evolução natural hoje: um plástico que até poucas décadas não existia, mas atualmente as bactérias já evoluíram a ponto de ocorrer uma espécie que se alimente exclusivamente dele. Inclusive cientistas americanos já estão trabalhando para produzir esta enzima que degrada o plástico em escala industrial.

É importante destacar também que a degradação de substâncias maléficas ao ambiente através do uso de bactérias é algo relativamente velho, já conhecida quando utilizada em áreas "fechadas" sob o nome de "Biorremediação". O uso de engenharia genética para criar organismos especificamente projetados para a biorremediação está sob pesquisa preliminar. Duas categorias de genes podem ser inseridas no organismo: genes degradativos que codificam proteínas necessárias para a degradação de poluentes e genes repórteres, capazes de monitorar os níveis de

poluição. Para não haver risco biológico, os organismos podem ser modificados de tal forma que só podem sobreviver e crescer sob conjuntos específicos de condições ambientais, além disso, o rastreamento de organismos modificados pode ser facilitado com a inserção de genes de bioluminescência para identificação visual.

BIOMINERAÇÃO

A utilização de fungos e bactérias na mineração, para extrair átomos do metal puro de sua rocha mineral já é algo bem difundido atualmente. Em torno de 20% da produção de cobre do Chile já é feita através deste processo, que possui vantagens ambientais em relação a queima ou outros ataques químicos, e também, econômicas. O funcionamento é simples: a bactéria se alimenta do minério produzindo um ácido que o dissolve, e deixa como resto o metal limpo.

Porém, algumas formas de minério continuam resistentes a biomineração, sendo assim, estão sendo desenvolvidas no mundo todo pesquisas para produzir micro-organismos que ataquem diferentes tipos de rocha comercialmente vantajosas.

BATERIAS

Apesar da maioria dos avanços industriais em engenharia genética envolverem bactérias, os vírus também não ficam fora da inovação. Pesquisadores do MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets) conseguiram desenvolver um novo material para formar o cátodo e o ânodo das baterias. O processamento do material se dá utilizando um vírus bacteriófago, que infecta bactérias, mas é inofensivo a humanos, que ao ser geneticamente modificado passa a se aderir a nano tubos de carbono formando uma rede de material altamente condutiva.

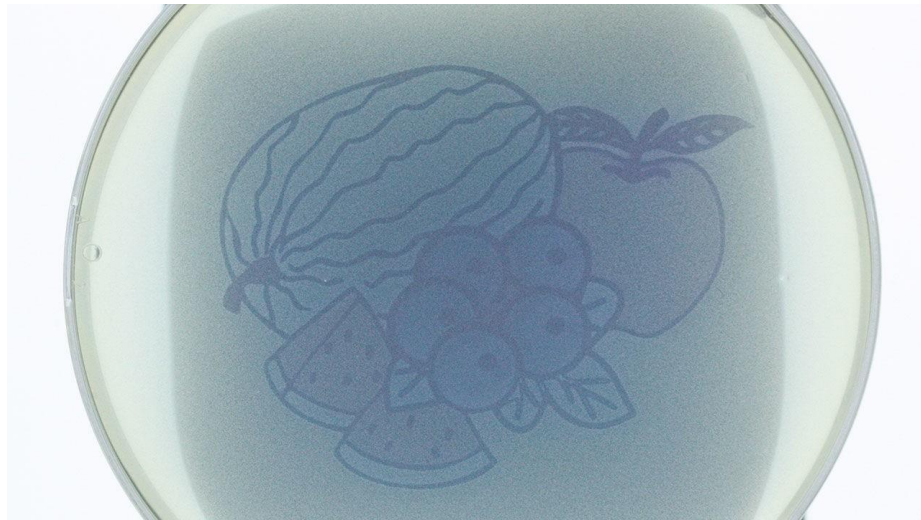
Tais baterias possuem capacidade semelhantes as baterias atuais de última geração e são ambientalmente benignas por serem feitas em água, não possuir solventes orgânicos, e a temperatura ambiente. E outra vantagem de se utilizar o vírus é a versatilidade, bastando alterar o DNA viral para alterar as propriedades do material. Ainda assim, tal bateria não está sendo produzida em escala industrial.

OUTRAS APLICAÇÕES DA ENGENHARIA GENÉTICA

Bactérias transgênicas podem atuar como sensores em ambientes específicos, através de uma proteína fluorescente, que ascende sob as condições ambientais desejáveis. Isto é um avanço notório, uma vez que será possível utilizar bactérias como sensores das mais diversas utilidades: temperatura, venenos e outros perigos no meio ambiente. Não apenas isso, cientistas estão pesquisando maneiras de usar essas mesmas bactérias, que possuem uma capacidade natural de comunicar entre si, como "circuitos vivos", onde elas passam a ser capazes de piscarem todas de maneira sincronizada através dessa comunicação, e até oscilam propagando impulsos elétricos por 90 minutos. Esta nova engenharia vai trazer avanços notáveis na área de nanotecnologia, podendo ser utilizadas em redes de comunicação, GPS ou até mesmo na área da medicina, dando medicamentos para um paciente com intervalos de tempo fixos e programáveis.

Por conseguinte, na área de artes e estética, a engenharia genética de bactérias está sendo desenvolvida também, e até mesmo já está sendo usada para produzir artes microbianas, como por exemplo fotografias em preto e branco (figura 1), diferentes cores de flores como rosas azuis e até peixes de aquário fluorescentes.

Figura 1: Arte microbiana



Fonte: Felix Moser

Ainda nesse prisma, técnicas de modificação genética estão sendo utilizadas na conservação de áreas naturais, onde a transferência de genes através de vetores virais tem sido proposta como um meio de controlar espécies invasoras, bem como vacinar a fauna ameaçada de doenças. Árvores transgênicas têm sido sugeridas como uma forma de conferir resistência a patógenos em populações selvagens. Com os crescentes riscos de desadaptação nos organismos como resultado da mudança climática e outras perturbações, a adaptação facilitada por meio de ajustes genéticos poderia ser uma solução para reduzir os riscos de extinção. Porém, as aplicações da engenharia genética na conservação são até agora praticamente teóricas e ainda precisam ser colocadas em prática.

Na área da ciência da informação, cientistas conseguiram gravar no DNA bacteriano informações, como imagens e até um vídeo em formato de gif. Eles converteram a informação em código genético, colocaram em bactérias vivas, e depois leram as informações e verificaram que elas eram suficientes para reproduzir o vídeo, ou seja, não apenas armazenavam a informação certa, mas na ordem temporal correta. Essa tecnologia ainda não tem serventia, mas no futuro essas bactérias podem ser modificadas para ler informações do ambiente ao redor e guardá-las em seu próprio genoma. Sendo assim, será possível ler através dessas bactérias informações sobre o estado de saúde dos seres humanos quando ficarmos doentes, algo como se elas fossem uma espécie de caixa preta, mas não para aviões, e sim para humanos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem dois principais pontos que podem otimizar o tempo necessário para a engenharia genética entrar em vigor globalmente e, com isso, iniciar a corrida rumo ao futuro. Analisando questões como: para quem, para quê e por quê tal tema será útil, levantamos dois pontos, que são: a redução de custos e a aprovação cultural.

Para a primeira colocação, observamos no decorrer da pesquisa que existem técnicas muito avançadas cientificamente, porém que necessitam de muito capital para serem realizadas. Contudo, essas técnicas deveriam ser oportunas a um maior número de países, de forma mais imparcial. Logo, reduzindo seus custos, avanços na área de Engenharia Genética poderiam se tornar realidade para a população mundial, independente de classe social, o que aumentaria exponencialmente sua área de aplicação. Deste modo, seria possível promover mais qualidade de vida e desenvolvimento a todos, almejando o bem-estar social, que é um dos principais objetivos da engenharia.

O segundo ponto e não menos importante, relativo à aprovação cultural, é algo um pouco abstrato e tão difícil quanto de alcançar, pois assuntos ligados à religião e política são espinhosos, polêmicos e envolvem intensos debates antes de se chegar em um consenso.

Contudo, o assunto da aprovação da engenharia genética é de essencial discussão, uma vez ser necessário o consentimento de boa parte das pessoas para que algo seja implantado em uma sociedade sem haver desavenças, anda mais pelo fato de que certas técnicas (como a de mutação

induzida em bebês) da engenharia genética ferem alguns princípios de certas religiões e políticas governamentais. Sendo assim, superar ou pelo menos diminuir estes dois entraves continua sendo essencial para obter e propagar globalmente os avanços na área.

REFERÊNCIAS

- CIB (Conselho de Informações sobre Biotecnologia). ENGENHARIA GENÉTICA: Como ela pode revolucionar nosso futuro. Disponível em: <<https://cib.org.br/engenharia-genetica/>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.
- UNIFESP. CEDEME. ANIMAIS GENETICAMENTE MODIFICADOS. AnGM. Disponível em: <<https://www.unifesp.br/campus/sao/cedeme/modelos-animais/camundongos/animais-geneticamente-modificados>>. Acesso em: 10 de junho de 2019.
- BARROS, Daniela. REVISTA ONCO. PANORAMA. A cura do câncer pela manipulação genética de drogas vivas. Disponível em: <<http://revistaonco.com.br/panorama-cura-do-cancer-pela-manipulacao-genetica-das-drogas-vivas/>>. Acesso em: 14 de junho de 2019.
- CANHAS, Isabela. ALIMENTOS TRANSGÊNICOS. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/genetica/alimentos-transgenicos/>>. Acesso em: 21 de junho de 2019.
- BARTH, Wilmar Luiz. ENGENHARIA GENÉTICA E BIOÉTICA. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/teo/article/download/1694/1227>>. Acesso em: 25 de junho de 2019.
- BHAN, Preksha. TOP 4 APPLICATIONS OF GENETIC ENGINEERING. Disponível em: <<http://www.biologydiscussion.com/genetic-engineering/applications-genetic-engineering/top-4-applications-of-genetic-engineering/37350>>. Acesso em: 21 de junho de 2019.
- COLÉGIO WEB. O QUE É ENGENHARIA GENÉTICA. Disponível em: <<https://www.colegioweb.com.br/engenharia-genetica/o-que-e-engenharia-genetica.html>>. Acesso em: 21 de junho de 2019.
- SYNTHEGO. History of Genetic Engineering and the Rise of Genome Editing Tools. Disponível em: <<https://www.synthego.com/learn/genome-engineering-history>>. Acesso em: 25 de junho de 2019.
- UB Biology. What are transgenic organisms. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20100527060202/http://www.easyscience.co.nz/ubbiology/biotech/lesson4.htm>>. Acesso em: 18 de junho de 2019.
- SAVAGE, Neil. MAKING GASOLINE FROM BACTERIA. A biotech startup wants to coax fuels from engineered microbes. Disponível em: <<https://www.technologyreview.com/s/408334/making-gasoline-from-bacteria/>>. Acesso em: 18 de junho de 2019.
- Summers, Rebecca. Bacteria churn out first ever petrol-like biofuel. Disponível em: <<https://www.newscientist.com/article/dn23431-bacteria-churn-out-first-ever-petrol-like-biofuel/>>. Acesso em: 07 de junho de 2019.
- CicloVivo. Bactéria que “come” petróleo pode ajudar a limpar os mares. Disponível em: <<https://ciclovivo.com.br/inovacao/tecnologia/bacteria-petroleo-limpar-mares/>>. Acesso em: 07 de junho de 2019.
- G1 SÃO PAULO. Cientistas descobrem bactéria capaz de desintegrar plástico de garrafa PET. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2016/03/cientistas-descobrem-bacteria-capaz-de-desintegrar-plastico-de-garrafa-pet.html>>. Acesso em: 07 de junho de 2019.
- REVISTA UNESP CIÊNCIA. Biomineração usa bactérias e fungos para extrair metais. Disponível em: <<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=biomineracao-bacterias-fungos&id=010160120724>>. Acesso em: 18 de junho de 2019.
- TRAFTON, Anne. New virus-built battery could power cars, electronic devices. Disponível em: <<http://news.mit.edu/2009/virus-battery-0402>>. Acesso em: 19 de junho de 2019.
- PALCA, Joe. Hidden Ingredient In New, Greener Battery: A Virus. Disponível em: <<https://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=102647672>>. Acesso em: 19 de junho de 2019.

University of California – San Diego. Researchers synchronize blinking 'genetic clocks' -- genetically engineered bacteria that keep track of time. Disponível em: <<https://www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100120131157.htm>>. Acesso em: 25 de junho de 2019.

REVISTA GALILEU. Bactérias são capazes de criar pinturas graças à engenharia genética. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2017/05/bacterias-sao-capazes-de-criar-pinturas-gracas-engenharia-genetica.html>>. Acesso em: 25 de junho de 2019.

CONNIFF, Richard. Should Genetic Engineering Be Used as a Tool for Conservation. Disponível em: <<https://e360.yale.edu/features/should-new-genetic-engineering-be-used-as-a-conservation-tool>>. Acesso em: 26 de junho de 2019.

BBC BRASIL. Cientistas transformam DNA de bactérias em 'HD natural' para armazenar informações. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-40592974>>. Acesso em: 26 de junho de 2019.

PENA, Sergio Danilo. MEDICINA GENÔMICA: A CIÊNCIA DE MANTER A SAÚDE. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/medicina-genomica-a-ciencia-de-manter-a-saude/>>. Acesso em: 26 de junho de 2019.

ARAUJO, Karla. TERAPIA CELULAR. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAdeUAl/terapia-celular>>. Acesso em: 09 de junho de 2019.

VAIANO, Bruno. Técnica testada em ratos cura vários tipos de câncer com 96% de eficiência. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/saude/tecnica-testada-em-ratos-cura-varios-tipos-de-cancer-com-96-de-eficiencia/>>. Acesso em: 09 de junho de 2019.

MARÇAL, David. Viver para sempre jovem, modificando os seus genes. Disponível em: <<https://www.publico.pt/2017/08/06/ciencia/noticia/viver-para-sempre-jovem-modificando-os-seus-genes-1781362>>. Acesso em: 09 de junho de 2019.