



BIOLOGIA SINTÉTICA E MANIPULAÇÃO GENÉTICA: Riscos, promessas e responsabilidades

Roberto Rohregger ^I
Anor Sganzerla ^{II}
Daiane Priscila Simão-Silva ^{III}

^I Centro Universitário Internacional (UNINTER)
Curitiba/PR - Brasil

^{II} Bioética, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR)
Curitiba/PR - Brasil

^{III} Instituto para Pesquisa do Câncer (IPEC - Guaraçuava)
Curitiba/PR - Brasil

Resumo: Fruto do avanço biotecnológico, a biologia sintética tem sido aplicada desde o melhoramento de alimentos até a criação de novos organismos. Este artigo investiga, sob uma perspectiva bioética, a respeito dos benefícios, riscos e ameaças à vida, decorrentes da produção, manipulação e, principalmente da criação de DNA's sintetizados inexistentes na natureza. Os relatórios de bioética da Casa Branca e do Comitê de Bioética de Portugal e Espanha contribuíram para discussão. O progresso da tecnociência, sem a devida capacidade ética de avaliação, pode produzir resultados que comprometem o desenvolvimento social, a preservação ambiental, a dignidade humana e a vida da biosfera no futuro. Nesse sentido, as conquistas da biologia sintética, tem se demonstrado ambivalentes, porque as esperanças se misturam com as ameaças, com resultados imprevisíveis à diversidade da vida da biosfera, o que torna a prudência a virtude por excelência.

Palavras-chave: Biologia Sintética; Bioética; Responsabilidade; Prudência

São Paulo. Vol. 23, 2020

Artigo Original

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180196r3vu2020L4AO>

Introdução

Os avanços na biotecnologia trazem, ao mesmo tempo, esperanças e constantes desafios, tanto para a compreensão de suas descobertas e aplicações quanto para o entendimento de uma abordagem ética que se desvela na sua aplicação. No que tange à biologia sintética, existe uma lacuna sobre a abordagem deste tema no Brasil, tanto na área científica, quanto dos impactados socioambientais dos produtos derivados de tal tecnologia. A bioética, enquanto ética aplicada, busca avaliar os novos avanços da tecnociência, seus produtos, e suas implicações à vida em geral, a fim de assegurar maior consciência e autonomia ao indivíduo e à sociedade em suas escolhas em vista de um futuro e sobrevivência responsável (ZANELLA; SGANZERLA, 2018).

A ciência, afirma Morin, “tornou-se muito perigosa para ser deixada nas mãos dos estadistas e dos Estados (...) ela passou a ser um problema cívico, um problema dos cidadãos (...) sendo inadmissível que esses problemas permaneçam entre quatro paredes” (2013, p. 133), porque cabe à sociedade a avaliação ética das novas possibilidades tecnocientíficas, de modo a exigir que o desenvolvimento seja ainda mais acelerado, quando necessário à garantia da saúde humana e seu bem-estar social e ambiental, e “repensado” quando o progresso coloca em risco a dignidade da vida humana e da biosfera.

A marca da tecnociência é a ambivalência, e desse modo, seu perigo não está somente quando é usada para fins considerados maléficis de antemão, mas “mesmo quando benevolentemente usada para seus fins mais legítimos e próprios, ela tem um lado ameaçador em si, que a longo prazo poderia ter a última palavra” (JONAS, 2013, p. 52). E acrescenta o pensador que “o preço pago pela posteridade deve ser levado em conta contra as pressões da hora (...)” (JONAS, 2013, p. 120), por isso, a responsabilidade deve ser um complemento necessário da liberdade.

A biologia sintética, principalmente com a criação de novos “produtos” biológicos e medicamentos inovadores, apresenta-se como uma das alternativas para melhorar a condição da vida humana. No entanto, os perigos e as ameaças, em vista da exaltação da promessa, são ignorados ou menosprezados, o que dificulta uma avaliação mais serena do que está apresentado. Mesmo nessa condição, em que as promessas se sobrepõem, não podemos perder a capacidade de questionar: como garantir a segurança necessária aos experimentos? Como garantir o controle dos organismos da natureza? Como evitar a perda da biodiversidade a partir da criação de microrganismos artificiais que podem agir imprevisivelmente no meio ambiente? Como evitar que os microorganismos sintéticos ajam como invasores e passem a desregular ecossistemas inteiros? Qual a possibilidade destes novos organismos apresentarem uma evolução indesejada com riscos ao meio ambiente e em consequência ao ser humano?.

Se o perigo na atualidade “reside mais no sucesso do que no fracasso” como afirma Jonas (2013, p. 52), é preciso, então, orientar eticamente o desenvolvimento da tecnociência de modo que seus desejos de conquista e superação não se constituam um mal para a humanidade. O aumento da “responsabilidade em relação à natureza e em relação ao futuro da humanidade se dá exatamente por causa do poderio técnico” (BRÜSEKE, 2005, p. 11), que se tornou capaz de realizar os desejos prometeicos do homo faber. A criação

da “ciência da sobrevivência humana” como propôs Potter (2016, p. 27) e chamada por ele de bioética, busca a construção de uma ponte entre o conhecimento técnico com a ética, pois não é possível separar a ciência do homem e do ambiente.

Assim sendo, frente ao avanço na manipulação e a criação de novas formas de vida pretendidas pela biologia sintética, esta discussão buscará nas reflexões ético-filosóficas, científicas, documentais e técnicas um norte na condução desse processo, haja vista que a marca da tecnociência é a ambivalência. Considerando a relevância dos documentos internacionais que tratam especificamente sobre biologia sintética, e frente à escassa documentação relativa a esta área no Brasil, optou-se por considerar os relatórios de bioética da Casa Branca e do Comitê de Bioética de Portugal e Espanha como referenciais para a análise crítica do presente tema em discussão.

Biologia sintética

A biologia sintética tem como finalidade, a partir da técnica desenvolvida do DNA recombinante, aliadas à engenharia genética, sistemas de informação e da química orgânica, remodelar organismos, ou mesmo criar novos organismos inexistentes na natureza. Afirma Barak (2010, p.183) que a biologia sintética representa uma “linha de pesquisa que tenta produzir, por reengenharia, formas de vida a partir de seus blocos de construção mais simples”. Segundo o relatório do Conselho Consultivo das Academias Europeias de Ciências (EASAC) sobre biologia sintética, ela pode produzir desde uma substância particular que não seja produzida naturalmente, até objetivos mais ambiciosos como produzir seres vivos completamente novos (2011, p. 3). Um dos acontecimentos que marcaram a biologia sintética foi a criação em 2010, pela equipe liderada pelo pesquisador Craig Venter, em seu laboratório de unidades básicas do DNA, da bactéria *Mycoplasma mycoides* de forma sintética, e, após introduzir o material sintético em outra célula receptora de espécie diferente (*Mycoplasma capricolum*), a mesma conseguiu se reproduzir da forma natural (GIBSON et al., 2010).

Conforme consta no relatório da Comissão de Bioética da Casa Branca, o desenvolvimento da tecnologia de síntese de DNA permitiu aos cientistas construir genes inteiros, e, eventualmente, o genoma completo de um microrganismo usando somente métodos sintéticos (CASA BRANCA, 2010, p.41)¹.

A linguagem profundamente técnica da biologia sintética remete a uma visão mecanicista dos processos biológicos, sob a qual aborda suas experiências e descobertas. Existe na pesquisa em biologia sintética uma clara junção da linguagem e da técnica da engenharia e da tecnologia da informação, que em conjunto propõem um olhar sistêmico, tratando o DNA como um sistema de informação que pode ser remodelado, e/ou criado sinteticamente. Da mesma forma com que se programa um software, pela lógica da biologia sintética, pode-se programar organismos ou criar organismos sintéticos com

1 - A partir de 15 de janeiro de 2017, o site da Comissão de Bioética da Casa Branca foi desativado e não mais atualizado. A Universidade de Georgetown mantém um espelho do site com os trabalhos da Comissão Presidencial 2009-2017 para o estudo de questões bioéticas. <https://bioethicsarchive.georgetown.edu/pcsbj/node/851.html>.

uma nova programação.

Assim a biologia sintética pode ser entendida como uma “engenharia genética extrema” (CTA, S/D, p.1), possibilitando re-projetar organismos já existentes ou mesmo criar novos organismos inexistentes na natureza. Atualmente, existem bancos de dados de sequenciamento de DNA e de RNA sintéticos onde se podem incluir e consultar partes de sequências de DNA, possibilitando o intercâmbio dos sequenciamentos e das experiências. Afirma Schneider (2007, p. 1) que a sequência de DNA de um BioBrick e outras características são armazenadas no MIT, em um banco acessível pela Internet, sem custos para os interessados, denominado Registry of standard biological parts². Não estão disponíveis os componentes físicos, materiais, mas sim a descrição bioquímica dos genes. Esse banco de dados aceita contribuições na forma de novos desenhos e melhoramentos nos genes disponíveis.

A biologia sintética, como parte integrante das bioengenharias, caracteriza-se como campo de pesquisa que atua na formulação, projeção e síntese de novas sequências de DNA, culminando em novas estruturas biológicas (LIANG et al., 2011).

A biologia sintética, na medida em que não se limita a combinação de DNAs existentes na natureza, mas abre-se para todo um novo arsenal de possibilidades, possibilita organismos engenheirados por computador (código genético desenhado no computador) que posteriormente possam ser incluídos em outros organismos, do qual se pode retirar o DNA original e substituí-lo por um DNA criado sinteticamente.

Aplicações, benefícios e riscos

A aplicação dos organismos sintéticos pode ser encontrada em diferentes setores, tais como: na produção de energia com o desenvolvimento de microrganismos desenhados para produzir hidrogênio e combustíveis ou até a realização da fotossíntese de forma artificial; na produção a granel para a indústria química de vários elementos de química fina, incluindo proteínas, que podem ser uma alternativa às fibras naturais ou às produzidas de forma sintética com a tecnologia atual; na produção de novos tipos de medicamentos, vacinas e agentes de diagnóstico e a produção de novos tecidos; na criação de novos aditivos alimentares, entre outros (CASA BRANCA, 2010, p. 55).

As expectativas em relação a biologia sintética são enormes e grandes conglomerados industriais demonstram o interesse, tanto no desenvolvimento das pesquisas quanto do patenteamento das mesmas e produção em grandes escalas. A declaração da Interacademy Partnership (IAP) para a biologia sintética afirma que muitos cientistas acreditam que esta técnica, utilizando os princípios da biologia de sistemas, da engenharia e do design químico, levará a novas aplicações de valor para a sociedade. Afirma a declaração que

a prova de conceito foi demonstrada com a criação de formas menos

2 - http://parts.igem.org/Main_Page

dispendiosas na produção de moléculas para o setor farmacêutico e outros produtos químicos de alto valor, havendo a probabilidade de outros desenvolvimentos, relativos à geração e à utilização otimizadas de biocombustíveis. Mais adiante, há possíveis aplicações desse ferramental biológico em biomedicina, agricultura, descontaminação da terra e da água, bio-sensoriamento, novos materiais, nano-máquinas e novas abordagens para o processamento de informação (IAP, S/D, p.1).

As possibilidades reais da biologia sintética são tantas que chegam parecer com as realidades produzidas na ficção científica. A Royal academy of engineering, no relatório intitulado Report synthetic biology: scope, applications and implications fez algumas previsões especulativas para a biologia sintética, para os próximos 10 a 25 anos. Prospecta o documento que, entre as principais possibilidades, temos: [1] a produção de biocombustíveis mais avançados; [2] a redução dos níveis de CO₂ mediante o desenvolvimento da tecnologia de folha artificial que produzirá uma versão sintética do processo fotossintético; [3] a produção de novos tipos de pesticidas mais amigáveis ao meio ambiente; [4] o desenvolvimento de bases biológicas leves e de materiais muito resistentes, que terão aplicação direta na indústria aeronáutica e automotivas; [5] o desenvolvimento de memórias de base biológica (o equivalente direto à memória de computador) para o ser humano. Após vencer essa primeira etapa, o objetivo será a produção de microprocessadores de diferentes tipos de base biológica. Como seu análogo eletrônico, eles executarão funções de controle aplicáveis aos sistemas vivos. E em torno de 25 anos teremos biossensores que residam permanentemente no corpo para detectar um determinado tipo de anormalidade, por exemplo doença arterial. No exemplo da doença arterial, o biossensor fará parte de uma máquina de engenharia por meio da biologia sintética, que, em seguida, fabrica ou lança a ‘droga’ para dispersar a placa arterial (ROYAL ACADEMY, 2009, p. 7-8).

É nessa perspectiva que se encontram as promessas da biologia sintética, ou seja, no desenvolvimento de produtos e procedimentos prometidos que visam o “bem comum”, somente com a possibilidade de melhoria de vida, mas também com o zelo em relação ao cuidado e a prevenção de acidentes que possam causar danos à saúde humana e a própria natureza.

Riscos

O potencial econômico e social da biologia sintética é de fato muito significativo, mas este potencial representa apenas uma parte das questões que estão em jogo. Os próprios comitês de bioética, tanto dos Estados Unidos, quanto da Espanha e de Portugal salientam que, assim como as promessas, os riscos também podem ser significativos (CASA BRANCA, 2010, p. 62; PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.16).

Pergunta-se: Como agir frente as incertezas e as consequências imprevisíveis? Os princípios da precaução e da responsabilidade parecem poder nos orientar nesse questionamento; visto que os mesmos afirmam que não devemos nos arriscar naquilo em que as evidências não são tão claras, faz-se necessária uma postura prudente e responsável, que

não aposta no “tudo ou nada” em vista de alcançar certos êxitos. E, conforme argumenta Jonas (2006), um desenvolvimento mais lento da ciência (embora alguns precisem de um desenvolvimento mais rápido para atender as suas necessidades imediatas), mas que não coloque em risco a imagem do homem, deve prevalecer sobre a ideia da autossuperação presente na utopia do progresso.

O Comitê de Bioética de Portugal e Espanha elencam algumas observações relacionadas aos riscos desta inovadora tecnologia. O principal risco apontado está relacionado às consequências em relação aos seres vivos e aos ecossistemas. Ao se manipular seres vivos e adaptá-los de forma sintética, estamos trabalhando com uma forma de vida que não tem similaridade na natureza, o que compromete suas interações. Isto, no entanto, provoca dúvidas de como este ser poderá interagir com o meio ambiente, além da possibilidade sempre presente do uso dual da técnica, como a produção de armas biológicas (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.16). O relatório apresenta o princípio da precaução como o norte fundamental a ser observado nas pesquisas.

O parecer do Comitê da Casa da Branca, por sua vez, constata que, apesar dos vários benefícios que o desenvolvimento da biologia sintética apresenta, ela traz uma série de riscos envolvidos em maior ou menor grau que podem ser menosprezados. Aponta o documento que o principal risco no estágio atual do desenvolvimento da técnica está nas eventuais contaminações ocorridas em decorrência de liberação acidental de organismos desenvolvidos através da biologia sintética. O relatório salienta que, ao contrário de produtos químicos produzidos sinteticamente, que geralmente têm qualidades e funções bem definidas e previsíveis, os organismos biológicos podem ser mais difíceis de controlar. Eventuais acidentes ou liberações não devidamente gerenciadas podem levar a cruzamentos com outros organismos e a proliferações descontroladas, ameaçando à própria biodiversidade (CASA BRANCA, 2010, p. 62).

O relatório cita um exemplo didático de um eventual acidente em sistema de produção de biocombustíveis, que emprega algas modificadas através da biologia sintética para a geração deste biocombustível. No caso de uma liberação não desejada deste organismo, através de vazamentos nos tanques em que são processados, este organismo derivado da biologia sintética pode se espalhar para cursos de água naturais e, com isso, multiplicar-se inibindo outras espécies e se impor no ecossistema natural com consequências imprevisíveis para o meio ambiente (CASA BRANCA, 2010, p. 63). Apesar deste cenário ser teórico, o relatório estimula a considerá-lo como uma consequência prática, de modo a desenvolver precauções adequadas a fim de impedir que aconteça.

Destaca o relatório, ainda, que uma das vantagens da biologia sintética é que muitas das ferramentas que serão desenvolvidas incluem em seu escopo estratégias para remediar os possíveis riscos de certas práticas. Cita, o documento, como uma das abordagens, a engenharia de genes terminator (gene de suicídio) que pode ser introduzido no organismo impedindo que se reproduzam ou sobrevivam fora de laboratórios ou em outro ambiente controlado em decorrência das condições químicas únicas, que não encontrariam no ambiente natural (CASA BRANCA, 2010, p. 63).

O setor de energia representa uma das mais esperadas utilizações da biologia sinté-

tica. Existe a possibilidade de um uso significativo de recursos naturais para a produção de biomassa para matéria prima de combustíveis. Ribeiro afirma que, visto desta forma, existe ainda o risco de que toda a natureza, o próprio ecossistema e os seres vivos em geral possam vir a ser categorizados como “biomassa”, ou seja, uma matéria prima universal que se pode processar através da biologia sintética, aumentando de forma exponencial a exploração da biomassa planetária (2013, p. 52).

Salienta-se ainda que estes organismos desenvolvidos podem representar riscos incomuns e sem precedentes, tendo em vista que o seu potencial de se reproduzir e evoluir não está bem estabelecido. Conclui o relatório que “são necessários dados adicionais para garantir que as modificações biológicas, tais como interruptores kill que se ativam após um número definido de gerações, vão funcionar” (CASA BRANCA, 2010, p.67-68). Com relação à agricultura, o relatório situa as preocupações com a segurança sendo semelhantes àquelas levantadas já sobre a própria engenharia genética. Dentre estes riscos, estão incluídos os danos a seres humanos, plantas ou animais que podem ser provenientes de fugas ambientais descontroladas, pragas novas ou resistentes de difícil controle, e aumento de resistência e crescimento de espécies invasoras, entre outras (CASA BRANCA, 2010, p. 70).

Por fim, existe a preocupação com a biossegurança de forma geral. Neste quesito, o relatório, por um lado, afirma que há uma grande atenção por parte da sociedade para com os riscos relacionados à biossegurança e ao duplo uso das tecnologias emergentes, porém, a biologia sintética pode desenvolver técnicas que aumentem a biossegurança permitindo que os pesquisadores possam identificar agentes biológicos perigosos, desenvolvidos sintética ou semi-sinteticamente. Cita que, de forma semelhante como foi realizado no Instituto J. Craig Venter, pode-se “marcar a bactéria que foi sintetizada com informações rastreáveis no código genético” (CASA BRANCA, 2010, p.71). Aliada a esta medida, outras como os “genes suicidas” ou tecnologias que inibam o crescimento ou sobrevivência do organismo fora do ambiente de contenção podem ser meios eficazes para combater as ameaças de biossegurança. Apesar de tais perspectivas, persistem as incertezas de que estas estratégias sejam de fato eficientes. O relatório afirma textualmente que “preocupações sobre a dupla utilização ou uso intencionalmente indevido da biologia sintética para fazer danos estão entre as críticas mais proeminentes desta tecnologia emergente” (CASA BRANCA, 2010, p.71). O risco de que a técnica da biologia sintética possa ser utilizada em mãos erradas é real, podendo ser usada para criar organismos prejudiciais visando o bioterrorismo. O relatório cita como exemplo recente a reconstrução de vírus usando a técnica de DNA recombinante, tais como o vírus da poliomielite infecciosa, o genoma micoplasma e a cepa 1918 do vírus influenza.

Se, por um lado, as perspectivas de avanço nas áreas de bem-estar social, combustíveis, saúde e alimentação apresentam um cenário animador, por outro, existem ainda muitas questões que não estão completamente claras, seguras e definidas com relação aos riscos que as acompanham. Camara et al, salienta que:

não se pode deixar de considerar que é característica, e esperado, na dimensão estratégica do jogo político, a contradição e a mudança de

opinião. São vários os atores envolvidos e fatores por detrás de uma decisão política, com isso, as decisões variam durante a busca de coalizões para concretização de alianças (2013, p.272).

A possibilidade do uso em bioterrorismo não pode ser minimizada. Há diversos grupos radicais com recursos financeiros suficientes para financiar sofisticados laboratórios para o desenvolvimento de armas biológicas. É possível observar cada vez mais a popularização, no próprio meio acadêmico, no qual são realizadas competições de criação de novos organismos. Desta forma, a biossegurança deve ser maior quanto mais acessível e completo for o desenvolvimento da biologia sintética.

Ameaça e esperança

A sociedade vive um constante paradoxo, há a preocupação pelo futuro, pela ecologia e o consumismo, porém o que conduz o presente são os interesses econômicos imediatos que têm precedência sobre a atenção com as gerações futuras (LIPOVETSKY, 2004, p.69). De modo geral, corre-se o risco de priorizar o otimismo tecnológico, ignorando os riscos e ameaças nele presentes, tanto para o presente como para as gerações futuras. O ideal de um possível sacrifício do presente em vista do futuro necessita ser compreendido e praticado em nossos tempos.

A utopia tecnológica exige superação diária em vista de suas conquistas, e com isso, ela ignora riscos e ameaças, como também os questionamentos mais elementares de sua atividade: a quem interessa todo esse processo de interferência da vida? Quais os ganhos que a humanidade terá com tais conquistas? Quais as reais necessidades humanas em nossos tempos?

Para as situações em que os possíveis riscos ainda não são tão evidentes, devido à imprevisibilidade das consequências, o in dubio pro malo proposto por Jonas (2013, p. 76-77) parece apontar-nos um caminho a fim de evitar que a ameaça venha a se concretizar. A opção metodológica da heurística do temor e da futurologia comparativa jonasianas, priorizando o diagnóstico negativo antes do positivo (JONAS, 2006, p. 70), quer dar ênfase não ao êxito, e sim ao fracasso, para que o mesmo não venha a se concretizar. Essa metodologia negativa proposta por Jonas quer impedir que as expectativas apresentadas pela utopia do progresso ofusquem nossa capacidade de ver as ameaças nele presente. Não se trata de uma posição pessimista, mas uma tomada de posição independente das possíveis promessas anunciadas. Na prática, trata-se de dar espaço e voz à virtude da prudência, tão necessária ao desenvolvimento tecnocientífico de nossos tempos que se tornou capaz de realizações inimagináveis, mas que também nos cria um cenário de incertezas e inseguranças. Afirmam Jacobi e Giatti que a virtude da prudência se tornou indispensável aos nossos tempos porque o processo de “desenvolvimento não é capaz de dialogar com possíveis efeitos colaterais, nem com as questões de natureza global-local repletas de profundas iniquidades, nem mesmo, hábil em considerar uma perspectiva transgeracional e duradora” (2015, p. 1).

Embora não seja possível assegurar uma garantia sem riscos no processo científico,

não podemos também correr qualquer risco em vista de conseguir certos benefícios. Portanto, ao lidarmos com situações novas e complexas em pesquisa, mas que têm consequências imprevisíveis, a regra jonasiana *in dubio pro malo* deve prevalecer ao otimismo tecnológico, porque as apostas nestas áreas do conhecimento podem ser extremamente arriscadas (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.17).

Os benefícios e as expectativas da biologia sintética são bastante propagados. Essas promessas, por sua vez, exigem com que esse modelo ou modo de pensar da utopia do progresso tenha que ser priorizado, e, com isso, a humanidade é impulsionada a aumentar sua produção e seu consumo. Afirma Maiso que, nos discursos, os partidários das bioengenharias apresentam o desenvolvimento como capaz de resolver, de maneira mágica, os problemas que foram legados pelas tecnologias de ontem com as tecnologias de amanhã (2013, p.15), autorizando, desse modo, a continuar a marcha do progresso.

Essa capacidade humana de manipular e, conseqüentemente, interferir no curso natural da evolução dos seres vivos, inclusive do próprio ser humano, “torna a tecnologia do DNA recombinante uma tecnologia ao mesmo tempo popular e polêmica” (COELHO et al., 2013 p. 262), e esta é uma percepção generalizada quando se trata do desenvolvimento da biotecnologia. A ambigüidade presente na tecnociência e, em nossa reflexão, na biologia sintética não pode ser ignorada ao analisarmos as esperanças e ameaças.

O risco da imprevisibilidade e o excesso de poder

Embora a capacidade tecnocientífica de nossos tempos cresça incessantemente a cada dia, com ela, no entanto, não aumenta a nossa capacidade de previsibilidade sobre o desenvolvimento e os resultados de pesquisa. Ao contrário, parece que a marca desse progresso reside muito mais na imprevisibilidade do que na certeza. Os prognósticos a curto prazo da civilização tecnológica não são suficientes para as questões a longo prazo, por isso a necessidade da ética (JONAS, 2006, p.73). Desse modo, temos que saber lidar com o paradoxo da imprevisibilidade do desenvolvimento científico, na medida em que a previsão do desenvolvimento tecnológico e científico futuro está limitada pelo conhecimento científico e tecnológico racional do presente. O aparecimento de uma nova técnica ou descoberta científica pode alterar radicalmente a previsão anterior a respeito daquela técnica. Desta forma, há um relativismo na previsão da ciência e por isso a necessidade constante da revisão de seus procedimentos e previsões. Jonas afirma:

(...) em todo caso, a extrapolação requerida exige um grau de ciência maior do que o que já existe no extrapoladum tecnológico; e, considerando que este representa a cada vez o optimum da ciência existente, o saber exigido sempre é, necessariamente, um saber ainda não disponível no momento e jamais disponível como conhecimento prévio; no máximo, somente como saber retrospectivo (2006, p. 73).

Percebe-se que há uma limitação na capacidade de previsibilidade que a própria tecnologia consegue elaborar, desta forma exige-se que se aja com prudência na procura do desenvolvimento e das aplicações da biologia sintética. O Relatório do Comitê de

Bioética de Portugal e Espanha evidencia que as pesquisas devem ser realizadas com a devida prudência, e, para tanto, recomenda que as pesquisas com biologia sintética sejam realizadas avaliando caso a caso, e passo a passo dentro desta pesquisa (PORTUGAL & ESPANHA, 2011, p.18). Novamente, aqui, prevalece a heurística do temor, em decorrência da dificuldade de previsibilidade, ainda mais ao se tratar de organismos que poderão interagir com outros organismos se dispersos na natureza, gerando uma quantidade de riscos que efetivamente não se pode “medir” em laboratório.

Os riscos presentes na capacidade tecnocientífica que podem ameaçar a humanidade ocorrem porque o avanço tecnológico não foi acompanhado pelo desenvolvimento da responsabilidade do homem. Afirma Jonas que a responsabilidade do ser humano é proporcional ao poder que ele possui. Assim sendo, é preciso que o ser humano aja de modo para que suas ações e decisões não comprometam a autenticidade da vida no futuro (JONAS, 2006).

Quando, pois, a natureza nova do nosso agir exige uma nova ética de responsabilidade de longo alcance, proporcional a amplitude do nosso poder, ela então também exige, em nome daquela responsabilidade, uma nova espécie de humildade - uma humildade não como a do passado, em decorrência da pequenez, mas em decorrência da excessiva grandeza do nosso poder, pois há um excesso do nosso poder de fazer sobre o nosso poder de prever e sobre o nosso poder de conceder valor e julgar (JONAS, 2006, p. 63).

Diante da relação de responsabilidade e do poder, pode-se questionar: qual é o risco que podemos correr em vista de conseguir certos benefícios? É possível avançarmos técnica e cientificamente sem colocar em risco a dignidade humana e a da totalidade da vida? Como alcançar essa medida? Como conciliar os objetivos do homo faber com a sabedoria do homo sapiens? Com o quê o cientista tem compromisso? Com a humanidade? Com os interesses da indústria e da economia? Com o progresso? Embora essas questões sejam extremamente complexas e exijam a participação de diferentes atores em suas respostas, a analogia feita por Jonas ao tratar do tema parece-nos ajudar na direção que devemos prosseguir. Afirma ele que “o médico está obrigado sempre ao paciente e a ninguém mais” (JONAS, 2013, p. 146). Ou seja, os interesses de terceiros, sejam eles a indústria, a economia, a política não podem ser priorizadas quando estão em jogo os avanços da tecnociência.

As possibilidades da biologia sintética não se limitam a criar DNA sintético para novos organismos, pois existe a possibilidade de inferência no DNA humano. No documento Os princípios para a supervisão da biologia sintética, desenvolvido pelos grupos Friends of the earth U.S. (Amigos da Terra nos EUA) e International center for technology assessment CTA) e ETC Group (Grupo ETC), afirma-se:

é preciso proibir o uso da biologia sintética para modificar a composição genética humana, quer seja do genoma ou epigenoma humanos, ou inclusive do microbioma humano. A convergência da biologia

sintética com outras tecnologias, como a transferência de genes através de vetores virais, de nanomateriais ou de células tronco, deixam ainda mais perturbadora a possibilidade de alterar o genoma humano. Qualquer alteração do genoma humano através da biologia sintética – particularmente uma mudança genética hereditária – é excessivamente arriscada e eivada de repercussões éticas (CTA, s/d, p. 5).

A biologia sintética acena com a possibilidade de criação de novos códigos genéticos, de manipulação e criação de organismos melhorados visando a necessidade humana. Recentemente, cientistas do Instituto de pesquisa Scripps, relataram que desenvolveram uma nova bactéria semissintética acrescentando duas bases sintéticas (denominadas X e Y) às quatro naturais (A, T, C, G) em seu código genético. A novidade deste procedimento está em que o novo par se manteve estável replicando-se nas divisões celulares, aumentando potencialmente o armazenamento de informações do DNA de organismos semissintéticos (ZHANG, et al., 2017). O uso da biologia sintética fica potencializado pela facilidade que o desenvolvimento da ferramenta de manipulação genética CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) pode proporcionar na edição de genomas. Nesta técnica, uma enzima, por exemplo, a Cas9 (uma nucleasse), tem potencial para cortar as duas fitas da dupla hélice do DNA, abrindo espaço para inserção de uma nova sequência, ou substituição de sequência de DNA prévia. Essa ferramenta tem sido descrita como “tesoura molecular” por sua capacidade de tornar possível feitos antes improváveis na engenharia genética, pelo exercício de “corte e cola” no genoma de qualquer organismo. A edição é baseada no processo de recombinação homóloga da sequência sintética com a sequência que se deseja editar no genoma. A enzima Cas9 atua, através da quebra na dupla fita, como indutora do processo de recombinação (LIANG et al., 2016; RODRIGUES et al., 2017).

Para possibilitar com maior eficiência ainda o uso da técnica CRISPR, pode-se contar, inclusive, com o uso de software de inteligência artificial, desenvolvido por pesquisadores da Microsoft, que visa minimizar eventuais efeitos fora do alvo desejado no projeto de edição genética (LISTGARTEN, 2018, p. 38-47). Os efeitos de corte fora do alvo são apontados na literatura como a principal fonte de risco no uso da técnica, pois o reparo impreciso da fita dupla induz mutações aleatórias (BRUMER et al., 2019). Contudo, segundo Nohama e Simão-Silva (2018), as questões éticas relativas à edição genética podem ser abordadas em três pontos focais: as questões inerentes ao processo de pesquisa e desenvolvimento; os problemas próprios da técnica CRISPR e os problemas relativos ao uso que se possa dar aos produtos gerados pela técnica. Sendo esta última a linha de questões em comum com a biologia sintética.

Frente a estas conquistas e dilemas humanos no uso da tecnociência, Lewis alerta-nos que o que pode nos fortalecer é também aquilo que pode nos enfraquecer, o que reforça o caráter ambivalente da tecnociência. Afirma:

a conquista da natureza pelo homem, caso se realizem os sonhos de alguns planejadores, significaria que algumas centenas de homens estariam governando os destinos de bilhões e bilhões. Não há nem

pode haver nenhum acréscimo ao poder do homem. Cada novo poder conquistado pelo homem é da mesma forma um poder sobre o homem. Cada avanço o deixa mais fraco, ao mesmo tempo em que o deixa mais forte. Em cada vitória, o homem é ao mesmo tempo o general que triunfa e o escravo que segue o carro dos vencedores (2005, p. 56).

Frente a esse cenário de excessivo poder humano com o uso da tecnociência e da imprevisibilidade dos resultados, a reflexão sobre a liberdade de pesquisa e a responsabilidade humana se tornam cada vez mais necessárias, a fim de que não passemos a idolatrar aquilo que possa nos prejudicar. O esforço, segundo Rojas Hernández (2017), está em estabelecer as bases mínimas para orientar todo o processo de desenvolvimento.

Considerações finais

A ciência optou por seguir o dualismo cartesiano que deixou de considerar a vida em sua totalidade, tratou o organismo de forma mecanicista, definindo suas ações apenas através de processos químicos/físicos, de modo a ignorar qualquer ontologia que não esteja ligada a materialidade. A facilidade que esta visão proporcionou para a ciência é evidente. Tratar o código genético como um programa, um software, que pode fazer que o hardware, o organismo, atue da forma como possa ser programado é realmente tentador. No entanto, não podemos reduzir o organismo somente a este tipo de visão dualista.

Se usarmos da analogia acima, que se apresenta tão cara à biologia sintética, devemos observar que, diferente do computador que executa o código que lhe é imputado, no qual podemos facilmente diferenciar o software do hardware, o organismo vivo absorve o seu código, e, nesta junção já não podemos ter o controle total porque o hardware pode modificar o software à revelia do seu programador, e, este código alterado pode ser transferido para as futuras gerações.

Somente a vida pode conhecer a vida, afirma Jonas (2004), e com isso a vida revela seu caráter de imprevisibilidade e de espontaneidade. Pensar que é possível dominar todos os processos e procedimento da vida é uma falha humana, e não tentar prever todas as consequências, para o tempo presente e para as gerações futuras, é um grave e arriscado erro.

A vida humana está profundamente ligada à manutenção da natureza, porque somos parte e fruto da natureza, por isso, as possíveis transformações realizadas na vida da natureza têm, a curto e a longo prazo, fortes impactos na vida humana.

O poder tecnológico de realização da biologia sintética e a imprevisibilidade de seus resultados exige que a virtude da prudência assuma um posto de destaque, visto que as ameaças não decorrem mais de nossa incapacidade de realização, mas sim de nosso poder e de nosso orgulho. Assim sendo, a responsabilidade é muito mais da esfera política-coletiva do que do indivíduo, e, por isso, necessita-se da prática da responsabilidade dos órgãos reguladores governamentais. Em outras palavras, trata-se de somar a responsabilidade do cientista (e de quem possa financiar a pesquisa) com a da esfera do legislador político. Neste aspecto, é importante destacar a necessidade de o tema biologia

sintética ser discutido e legislado no Brasil.

Embora se busque regras gerais baseadas no princípio da precaução e da responsabilidade para nortear a legislação de biossegurança em relação às pesquisas em biologia sintética, cada novo produto deve também ser analisado individualmente buscando identificar seus impactos e suas ameaças e riscos. Desse modo, a transparência e a honestidade devem ser essenciais no processo de desenvolvimento da pesquisa, pois a sociedade precisa estar ciente dos passos que estão sendo dados. Sem democratização da informação e do conhecimento, o processo de autonomia e de esclarecimento não se efetivam.

Ao chegarmos à conclusão dessa reflexão, é possível afirmar que as recomendações para as empresas e os laboratórios de pesquisa em biologia sintética presentes nos relatórios de bioética da Casa Branca e do Comitê de Bioética de Portugal e de Espanha são de extrema relevância porque afirmam que as pesquisas em biologia sintética devem pautar-se pelos seguintes princípios: [1] beneficência pública, [2] administração responsável, [3] liberdade intelectual e responsabilidade, [4] deliberação democrática, [5] princípio da precaução, [6] princípio da rastreabilidade, e [7] princípio do “passo a passo” e “caso a caso”.

Embora a defesa desses princípios já represente um passo significativo na orientação com as pesquisas em biologia sintética, é possível identificar outros princípios fundamentais para garantir a dignidade humana, a diversidade e o respeito à natureza e a preservação do que podemos chamar de vida natural. Por isso, tomamos a liberdade de acrescentar outros princípios aos documentos acima mencionados, que possuem uma aproximação ao universo da bioética: [8] não maleficência pública: o cuidado com a biologia sintética não deve ser avaliado apenas olhando a beneficência pública, o que pode sugerir uma preocupação apenas com o cuidado de proporcionar o bem para a sociedade, mas também o aspecto da não maleficência, isto é, a biologia sintética não pode promover problemas para a sociedade; [9] justiça e distribuição proporcional de riscos: os setores mais vulneráveis da sociedade devem ter uma maior proteção por parte dos governantes e da legislação, e os setores mais beneficiados com técnica da biologia sintética devem ser responsabilizados em caso de acidentes e de resultados inesperados; [10] responsabilidade governamental: as instituições públicas responsáveis pela liberação e fiscalização de pesquisas e produtos desenvolvidos a partir da biologia sintética são responsabilizados e passíveis de ações legais e administrativas pelas consequências do uso da técnica; [11] maximização do risco: deve-se privilegiar a maximização do risco e dos problemas que possam decorrer de acidentes e do desenvolvimento indesejado de organismos geneticamente sintetizados ou de possibilidade de duplo uso; [12] princípio da reversibilidade: as ações reversíveis têm preferência sobre as ações irreversíveis. Para cada risco ou possibilidade de acidentes identificados deve haver um plano que possa reverter a ação ao estágio anterior de forma segura. O acréscimo desses princípios ao relatório da Casa Branca e do Comitê de Bioética de Portugal e Espanha pode assegurar mais segurança ética, jurídica e técnica ao processo de desenvolvimento da pesquisa em biologia sintética.

Com a criação de novos tipos de materiais, a biologia sintética poderá revolucionar

toda a vida humana assegurando-lhe muitos benefícios e conquistas. No entanto, se ficarmos hipnotizados pelas possibilidades de êxitos, podemos ignorar os riscos, por isso é necessário conciliar o aumento do poder humano com a prática da responsabilidade. Se a sabedoria, como afirmou Potter, é a capacidade de saber utilizar do conhecimento, é dela que precisamos para orientar as pesquisas em biologia sintética.

Se, por um lado, não existe “progresso sem sombras”, como afirma Morin (2010, p. 29), porque todo o progresso corre o risco de se degradar, e, por isso, o progresso representa uma das faces incertas do futuro, por outro lado, o compromisso da tecnociência deve ser com a dignidade da vida da biosfera.

Embora a biologia sintética seja algo recente, o tema já vem sendo debatido pela bioética em suas diferentes áreas do conhecimento porque os resultados das pesquisas em biologia sintética estão promovendo forte impacto sobre a vida, a diversidade, a ecologia, a sustentabilidade, o biodireito, principalmente quando fazemos referência à criação de novas formas de vida ainda não existentes na natureza. Trata-se, portanto, de uma nova possibilidade que traz consequências imprevisíveis para além do mundo acadêmico e científico. Se a “ciência é um processo sério demais para ser deixado só nas mãos dos cientistas”, como afirma Morin (2013, p. 133), é preciso então promover o diálogo, o debate, a reflexão, o acesso à informação de toda a sociedade e nas diferentes áreas do conhecimento. Para tanto, o caráter interdisciplinar da bioética, representa uma ferramenta privilegiada.

Referências

BEM-BARAK, I. Pequenas maravilhas – Como os micróbios governam o mundo. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2010.

BRUMER, E. et al. CRISPR-induced double-strand breaks trigger recombination between homologous chromosome arms. *Life Science Alliance*, n.2, v.3, e201800267, Jun 2019.

BRÜSEKE, F. J. Ética e técnica? Dialogando com Marx, Spengler, Jünger, Heidegger e Jonas. *Ambiente & Sociedade*. v. 8, n.2. Campinas, Jul/dez 2005.

CASA BRANCA. New Directions – The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies. Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues. 2010. Disponível em: <https://bioethicsarchive.georgetown.edu/pcsbi/synthetic-biology-report.html> Data do acesso: 17/04/2018.

COELHO C, M. C. et al. Regulamentação sobre bio(in)segurança no Brasil: a questão dos alimentos transgênicos. *Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis*, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 261-286, jun. 2013.

CTA. Os Princípios para a supervisão da biologia sintética. Disponível em: <http://libcloud>.

s3.amazonaws.com/93/b7/8/2289/1/Principios_para_a_Supervisao_da_Biologia_Sintetica.pdf.
Data de acesso: 10/03/2017

EASAC. European Academies Science Advisory Council. *Biologia Sintética: Uma Introdução*, 2011. Disponível em: http://www.easac.eu/fileadmin/Reports/Easac_

11_SB-Lay-Portuguese_web.pdf. Data de acesso: 10/10/2017

GIBSON, D. G. et al. Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. *Science*, Washington, v. 2; n. 329, f. 5987, p.52-6, 2010.

IAP. Declaração IAP sobre o Potencial Global em Biologia Sintética: Oportunidades Científicas e Boa Governança. Disponível em: <http://www.interacademies.net/File.aspx?id=24049>. Acesso em: 27/04/2017.

JACOBI, P. R.; GIATTI, L. L. A ambivalência do desenvolvimento e a busca de novas vias para a sustentabilidade. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, vol.18, n.3., 2015.

JONAS, H. *O Princípio Responsabilidade: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica*. Tradução de Marijane Lisboa e de Luiz Barros Montez. Rio de Janeiro: Editora Contraponto / Editora PUC-Rio, 2006.

_____. *Técnica, medicina e ética: sobre a prática do princípio responsabilidade*. Tradução do Grupo da ANPOF. São Paulo: Editora Paulus, 2013.

_____. *O princípio vida: fundamentos para uma biologia filosófica*. Tradução de Carlos Almeida Pereira. Petrópolis: Vozes, 2004.

LEWIS, C. S. *A Abolição do Homem*. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 2005.

MAISO, J. Desafios éticos, filosóficos e políticos da biologia sintética. *Cadernos IHU – Ideias*. São Leopoldo, Ano II, n 20, 2013. Disponível em: <http://www.biodiversidadla.org/content/download/105115/786656/version/1/file/Desafio+%C3%A9ticos,+filos%C3%B3ficos+e+pol%C3%ADticos+da+biologia+sint%C3%A9tica.pdf>. Acessado em: 20/03/2017.

LIANG, J. et al. Synthetic biology: putting synthesis into biology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Systems Biology and Medicine*. Germany, v.3, n.1, p. 7–20, 2011.

LIANG, J. et al., CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human tripronuclear zygotes. *Protein & Cell*. Switzerland, v.6, n.5, p. 363-372, 2015.

LIPOVETSKY, G. *Os tempos hipermodernos*. São Paulo: Ed. Barcarolla, 2004.

LISTGARTEN, J. et al. Prediction of off-target activities for the end-to-end design of CRISPR guide RNAs. *Nature Biomedical Engineering*. London, v. 2, p.38–47, 2018.

MORIN, E. *Ciência com consciência*. Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Araripe de Sampaio Doria. 15ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

_____. Para vai o mundo? Tradução de Francisco Morás. Petrópolis: Vozes, 2010.

NOHAMA, N.; SIMÃO-SILVA, D.P. CRISPR: entre a esperança e a agonia. Revista IHU, dez. 2018. <http://www.ihu.unisinos.br/78-noticias/585255-crispr-entre-a-esperanca-e-a-agonia>,

POTTER, V.R. Bioética: ponte para o futuro. Tradução de Diego Carlos Zanella. São Paulo: Edições Loyola, 2016.

PORTUGAL & ESPANHA, Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida; Parecer Conjunto do Conselho Nacional de Ética para as Ciências da Vida de Portugal e do Comitê de Bioética de España. Disponível em: http://www.cneqv.pt/admin/files/data/docs/1320431400_BiologiaSintetica_CBE-CNECV%20Aprovado.pdf. Data de acesso: 18/11/2017.

RODRIGUES, O. A. et al. Terapia gênica hereditária: igualdades e desigualdades na sociedade futura. In: SIMÃO-SILVA; PESSINI, L. (Org.). Bioética, técnica e genética. Curitiba: CRV, 2017, v. 1, p. 33-50.

RIBEIRO, S. Biología sintética, bioeconomía y justicia global. Revista VIENTO SUR. N. 131 – Diciembre, 2013.

ROYAL ACADEMY. Synthetic Biology: Scope, applications and implications. The Royal Academy of Engineering. Disponível em: <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/synthetic-biology-report>. Acesso em 26/05/2017.

ROJAS, H. J. Citizen participation, quality of life and territorial trans-regional justice: a social basis for common good. Ambiente & Sociedade. São Paulo, v.20, n.1, p.21-42. Mar 2017.

ZANELLA, D.; SGANZERLA, A. Os escritos de Van Rensselaer Potter. In: PESSINI, L.; SGANZERLA, A.; ZANELLA, D. (ORG). Van Rensselaer Potter: um bioeticista original. São Paulo: Edições Loyola, 2018, p. 35-44.

SCHNEIDER, M. Biología Sintética. Consultoria Legislativa. Dezembro 2007; Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema14/2007-12661.pdf>. Data do acesso: 19/11/2017.

ZHANG, Y. et al. A semisynthetic organism engineered for the stable expansion of the genetic alphabet. PNAS. USA, v.114 f. 6 p.1317-1322, 2017.

Roberto Rohregger

Submetido em: 14/08/2018

✉ roberto.r67@gmail.com

Aceito em: 25/02/2020

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9611-259X>

2020;23:c01963

Anor Sganzerla

✉ anor.sganzerla@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8687-3408>

Daiane Priscila Simão-Silva

✉ dpscientist@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1633-9899>

Como citar: ROHREGGER, R.; SGANZERLA, A.; SIMÃO-SILVA, D. P. BIOLOGIA SINTÉTICA E MANIPULAÇÃO GENÉTICA: Riscos, promessas e responsabilidades. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 23, p. 1-17, 2020.

BIOLOGÍA SINTÉTICA Y MANIPULACIÓN GENÉTICA: Riesgos, promesas y responsabilidades

Roberto Rohregger
Anor Sganzerla
Daiane Priscila Simão-Silva

São Paulo. Vol. 23, 2020

Artículo original

Resumen: Fruto del avance biotecnológico, la biología sintética se ha aplicado desde la mejora de los alimentos hasta la creación de nuevos organismos. Este artículo investiga, desde una perspectiva bioética, acerca de los beneficios, riesgos y amenazas a la vida, derivados de la producción, manipulación y, principalmente, de la creación de ADN sintetizados inexistentes en la naturaleza. Informes de bioética de la Casa Blanca y el Comité de Bioética de España y Portugal contribuyeron a la discusión. El progreso de la tecnociencia, sin la debida capacidad ética de evaluación, puede producir resultados que comprometen el desarrollo social, la dignidad humana y la vida de la biosfera en el futuro. En ese sentido, las conquistas de la biología sintética se han demostrado ambivalentes, porque las esperanzas se mezclan con las amenazas, con resultados imprevisibles a la diversidad de la vida de la biosfera, lo que hace la prudencia la virtud por excelencia.

Palabras-clave: Biología Sintética; Bioética; Responsabilidad; Prudencia

Como citar: ROHREGGER, R.; SGANZERLA, A.; SIMÃO-SILVA, D. P. BIOLOGÍA SINTÉTICA Y MANIPULACIÓN GENÉTICA: Riesgos, promesas y responsabilidades. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-17, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180196r3vu2020L4AO>

SYNTHETIC BIOLOGY AND GENETIC MANIPULATION: Risks, promises and responsibilities

Roberto Rohregger
Anor Sganzerla
Daiane Priscila Simão-Silva

São Paulo. Vol. 23, 2020
Original Article

Abstract: As a result of the biotechnological advance, synthetic biology has been applied from the improvement of food to the creation of new organisms. This article investigates, from a bioethical perspective, the benefits, risks and threats to life, arising from the production, manipulation and, especially, the creation of synthesized DNAs that do not exist in nature. Bioethics reports from the White House and the Bioethics Committee of Portugal and Spain contributed to the discussion. The progress of technoscience, without the proper ethical capacity for evaluation, can produce results that compromise the social development, environmental preservation, human dignity, and biosphere life in the future. In this sense, the achievements of synthetic biology have been shown to be ambivalent, because hopes are mixed with threats, with unpredictable results to the diversity of life of the biosphere, which makes prudence the virtue par excellence.

Keywords: Synthetic Biology; Bioethics; Responsibility; Prudence

How to cite: ROHREGGER, R.; SGANZERLA, A.; SIMÃO-SILVA, D. P. SYNTHETIC BIOLOGY AND GENETIC MANIPULATION: Risks, promises and responsibilities. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo, v. 23, p. 1-16, 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180196r3vu2020L4AO>