

A MANIPULAÇÃO DE GENES A PARTIR DA TÉCNICA DE EDIÇÃO GENÉTICA CRISPR/CAS9 À LUZ DA BIOÉTICA E DO BIODIREITO

MANIPULATION OF GENES USING THE CRISPR/CAS9 GENE EDIT TECHNIQUE IN THE LIGHT OF BIOETHICS AND BIOLAW

MANIPULACIÓN GENES UTILIZANDO LA TÉCNICA DE EDICIÓN DE GENES CRISPR/CAS9 A LA LUZ DE LA BIOÉTICA Y EL DERECHO BIOLÓGICO

¹ Mestre em Ecologia e Limnologia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Especialização em Biologia Molecular aplicada à Bioinformática pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Doutoranda em Ciências pelo programa de pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e graduanda em direito pelo Centro Universitário Cidade Verde (UniCV).

² Mestre em Direito pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e Pós-graduada em Bioética pela Universidade Estadual de Londrina (UEL), em Tecnologias Aplicadas ao Ensino à Distância pelo Centro Universitário Cidade Verde (UniCV), em Metodologia para o Enfrentamento a Violência contra crianças e adolescentes na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), em Direito Tributário pelo Instituto de Ciências Sociais do Paraná (IBEJ Cursos Jurídicos Ltda), Especialização em Direito pela Escola da Magistratura do Paraná e pela Fundação Escola Superior do Ministério Público do Estado do Paraná, graduada em Direito pela Universidade Estadual de Maringá (UEM) e em Teologia pela Faculdade Teológica Sul Americana (FTSA). Advogada, Mediadora Familiar do Centro Judiciário de Solução de Conflitos (CEJUSC – TJ/PR), Pós-graduada em formação em Terapia de Casal e da Família do Instituto da Família da Faculdade Teológica Sul Americana (FTSA). Professora da graduação e pós-graduação do Centro Universitário Cidade Verde (UniCV).

* Autor correspondente: Bárbara Scorsim.
E-mail: barbarascorsim@gmail.com

Bárbara Scorsim^{1*} 

Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves² 

SUMÁRIO: *Introdução; 2 Bioético e o biodireito; 3 A técnica de edição genética CRISPR/Cas9: breve análise dos benefícios e riscos; 4 Conclusão; Referências.*

RESUMO: A manipulação genética, desde os estudos de Mendel até as tecnologias atuais como o CRISPR/Cas9, trouxe avanços significativos, mas também questões éticas. Ferramentas como o CRISPR permitem editar o genoma com precisão, beneficiando o tratamento de distúrbios genéticos, doenças infecciosas e câncer, além de possibilitar diagnósticos e terapias personalizadas. Contudo, esses avanços levantam preocupações sobre mutações permanentes, riscos irreversíveis e desigualdades sociais. A aplicação da edição genética exige rigorosa observância dos princípios bioéticos — autonomia, beneficência, não maleficência e justiça — para maximizar benefícios e minimizar prejuízos. O Biodireito é fundamental na regulamentação e controle legal, prevenindo abusos, como uso indevido por hackers. Garantir o uso ético da tecnologia requer consenso global e respeito à dignidade humana, com o objetivo de promover o bem-estar coletivo sem comprometer a integridade da espécie.

PALAVRAS-CHAVE: Manipulação genética; CRISPR/Cas9; Princípios bioéticos; Biodireito; Edição de genoma.

ABSTRACT: Genetic manipulation, from Mendel's studies to modern technologies like CRISPR/Cas9, has brought significant advancements but also ethical concerns. Tools like CRISPR allow precise genome editing, benefiting the treatment of genetic disorders, infectious diseases, and cancer, while enabling personalized diagnostics and therapies. However, these advances raise concerns about permanent mutations, irreversible risks, and social inequalities. The application of genetic editing requires strict adherence to bioethical principles — autonomy, beneficence, non-maleficence, and justice — to maximize benefits and minimize harm.

Recebido em: 27/12/2024

Aceito em: 28/01/2026

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.



Biolaw plays a crucial role in regulation and legal oversight, preventing abuses such as misuse by hackers. Ensuring the ethical use of this technology demands global consensus and respect for human dignity, aiming to promote collective well-being without compromising the integrity of the species.

KEYWORDS: Genetic manipulation; CRISPR/Cas9; Bioethical principles; Bioethics; Genome editing.

RESUMEN: La manipulación genética, desde los estudios de Mendel hasta las tecnologías modernas como CRISPR/Cas9, ha traído avances significativos, pero también plantea preocupaciones éticas. Herramientas como CRISPR permiten la edición precisa del genoma, beneficiando el tratamiento de trastornos genéticos, enfermedades infecciosas y cáncer, además de posibilitar diagnósticos y terapias personalizadas. Sin embargo, estos avances generan inquietudes sobre mutaciones permanentes, riesgos irreversibles e inequidades sociales. La aplicación de la edición genética requiere una estricta adherencia a los principios bioéticos —autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia— para maximizar los beneficios y minimizar los daños. El bioderecho desempeña un papel crucial en la regulación y supervisión legal, previniendo abusos como el uso indebido por parte de hackers. Garantizar el uso ético de esta tecnología exige consenso global y respeto por la dignidad humana, con el objetivo de promover el bienestar colectivo sin comprometer la integridad de la especie.

PALABRAS-CLAVE: Manipulación genética; CRISPR/Cas9; Principios bioéticos; Bioderecho; Edición del genoma.

INTRODUÇÃO

A questão da manipulação genética não é algo novo na história da humanidade. Já em 1866, Gregor Johann Mendel, considerado pai da genética, por meio de pesquisas feitas com ervilhas (*Pisum sativum*) acabou por responder várias questões acerca da hereditariedade.

E mesmo na ficção, isso sempre foi uma área que intrigou escritores. Uma das obras de ficção científica que, no passado, tratou desse assunto de forma a chamar atenção até os dias atuais foi o livro de Aldous Huxley (1932)¹, posto que aquele, em seus escritos, descreveu uma sociedade na qual os seres humanos não nasceriam mais de pais e mães, mas sim de provetas, nas quais são depositados os gametas que formarão os destinados a serem embriões manipulados, geneticamente, a fim de atender as necessidades sociais, já que, desde a sua criação e até mesmo durante o seu crescimento, seriam, manipulados, constantemente, induzidos e ensinados a serem apenas aquilo que o Estado lhes permitisse ser.²

Apresentou naquela ainda, a formação de um Estado totalitário que, para manter a estabilidade, tiraria toda liberdade dos cidadãos, os quais, aliás, não teriam a mínima ideia do que seja isso, já que seriam condicionados, tanto, geneticamente, como por lavagem cerebral, na infância e na puberdade, a aceitarem sua condição social.³

Os avanços científicos são as grandes armas usadas por esse Estado totalitário para manter a ordem por ele estabelecida. Essa estabilidade, quando abalada por algum ser humano que se insurgisse contra essa situação (o que se explicaria por meio de manipulação genética que não teria saído em conformidade com o esperado, uma vez que este ficou mais próximo da normalidade que, hoje, se conhece), seria banido, porquanto aquele ser que “pensa” representaria um risco àquela sociedade e poderia ser prejudicial à forma de governo estabelecida.

Valores como família, fé, amor, amor ao próximo, relacionamentos humanos de amizade e cuidado com o ambiente em que se vive seriam eliminados. A sociedade se formaria em uma base de consumo exacerbado, em que somente se priorizaria o que fosse útil, sendo descartado tudo que não fosse perfeito; na qual haveriam diversas castas, as quais seriam geneticamente desenvolvidas para desempenhar certo tipo de serviço por toda a vida, sem que houvesse qualquer oportunidade de mudanças; e na qual, ainda, os problemas surgidos seriam resolvidos com o uso de drogas que manteriam as criaturas tranquilas, a ponto de nunca questionarem o meio em que vivem.⁴

Essa obra, que parecia impossível de se tornar realidade, com os avanços científicos, tornou-se completamente realizável, mesmo que não necessariamente da maneira como descrita pelo escritor. Há algum tempo se tem bebês nascidos a partir de úteros humanos transplantados, manipulação de embriões humanos e animais das mais diferentes formas⁵, a possibilidade de realização de terapias gênicas por meio

¹ HUXLEY, Aldous. **Admirável mundo novo**. Tradução de Vidal de Oliveira e Lino Vallandro. 26^a. ed. São Paulo: Globo, 2000.

² GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis. **O direito à vida e o direito de um viver melhor – um conflito de direitos fundamentais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, – Maringá, PR [s.n.], 2005. 300f, p. 1.

³ Ibidem.

⁴ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis. **O direito à vida e o direito de um viver melhor – um conflito de direitos fundamentais**. op. cit., p. 2.

⁵ “Recentemente, foram desenvolvidos embriões de porcos inoculados com células-tronco humanas, que produziram células híbridas com materiais genéticos de ambas as espécies. Os dados, totalmente inesperados, mostraram que células humanas e suínas fusionadas tinham marcadores semelhantes de superfície celular. E mais: surpreendentemente, a análise molecular do sangue e dos órgãos dos suínos adultos que, quando fetos, tinham recebido células humanas, demonstrou a presença de

do uso de células tronco, embrionárias e adultas, bem como também tantas outras formas de manipulação de genes, sendo uma das mais recentes a técnica de edição de genes denominada CRISPR/CAS9.

Como se verá a seguir esse método de corte do DNA é, atualmente, a ferramenta de edição de genoma mais bem sucedida, pois pode ser facilmente reprogramado para atingir novas sequências de DNA ou RNA em qualquer organismo vivo. Dentre as diversas aplicações do CRISPR/Cas9, uma das aplicações mais interessantes está relacionada ao seu potencial uso em tratamentos de distúrbios genéticos causados por mutações em um único gene que acabam por causar doenças degenerativas.

Contudo, da mesma forma que esta inovação científica pode trazer grandes avanços à área da saúde e, também a outras como os cuidados com o meio ambiente, pode ser um grande risco, posto que tem potencial de gerar mutações genéticas em seres vivos de diferentes espécies e também em humanos, as quais se tornariam permanentes e passadas de geração em geração.

Sendo assim, por meio do presente estudo, buscar-se-á, de forma singela, trazer contribuições às discussões acerca da temática, sem, contudo, se atrever esgotar o tema, tendo em vista sua abrangência e importância na contemporaneidade.

2 BIOÉTICA E O BIODIREITO

O termo bioética foi, inicialmente, utilizado pelo oncologista estadunidense Van R. Potter, no seu artigo intitulado *The science of survival* e, posteriormente, em sua obra *Bioethics, bridge to the future* (Bioética, ponte para o futuro), de 1971⁶, relacionada às ciências da vida.

Na obra citada, o autor fez um diagnóstico do perigo que representa para todo o ecossistema, as ciências se encontrarem separadas do conhecimento humanista, ou seja, dos saberes que envolvem os valores éticos, posto que isto poderia colocar em perigo a própria sobrevivência da vida sobre a terra, sendo necessário, portanto, que o estudo das ciências seja realizado em conjunto com uma análise Bioética do mesmo.⁷

Elio Sgreccia, acerca dos ensinamentos de Potter, aduz que:

(...) é interessante sublinhar o núcleo conceitual que ele situa na raiz do nascimento da bioética: a necessidade de que a ciência biológica se faça perguntas éticas, de que o homem se interroge a respeito da relevância da moral de sua intervenção na vida. Trata-se de superar a tendência pragmática do mundo moderno, que aplica imediatamente o saber sem uma mediação racional e muito menos moral: a aplicação de todo conhecimento científico pode ter, de fato, consequências imprevisíveis sobre a humanidade, até por efeito da concentração do poder biotecnológico nas mãos de poucos.

Na concepção de Potter, portanto, a Bioética se movimenta a partir de uma situação de alarme e de uma preocupação crítica a respeito do progresso da ciência e da sociedade; expressa-se, assim, teoricamente, a dúvida sobre a capacidade de sobrevivência da humanidade, justamente – que paradoxo! – por efeito do progresso científico.⁸

células com material genético de porcos, de humanos e também células híbridas”. (GARCIA, E.S. Manipulação genética. In: Genes: fatos e fantasias [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2006, pp. 79-106. ISBN: 978-65-5708- 102-0. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786557081020.0006>. Acesso em: 10/06/23).

⁶ BARBOZA, Heloisa Helena. Princípios da Bioética e do Biodireito. In **Revista Bioética (CFM)**, Simpósio Princípios da Bioética e do Biodireito-2000, Brasília, v. 8, n. 2, p. 209 – 216, 2000, p. 209.

⁷ POTTER, V. R., *Bioethics: bridge to the future*, 1971. apud SGRECCIA, Elio. **Manual de Bioética: I- fundamentos da ética médica**, 2. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2002. p. 24.

⁸ Ibidem.

Para Heloisa Helena Barbosa, a bioética “em sua concepção alargada passou a designar os problemas éticos gerados pelos avanços nas ciências biológicas e médicas”⁹, buscando sistematizar o tratamento das diversas questões surgidas acerca da vida humana e tudo o que a cerca (já que engloba estudos sobre o meio ambiente também) e, por isso mesmo, foi definida, de forma simplista, como sendo a “ética da vida”.¹⁰

Salienta-se que a ciência bioética não pode ser sistematizada de modo rígido, tendo em vista que a sua discussão, “não é aquela que se trava para a vitória de uma tese”¹¹, mas sim, existe para articular e combinar ideias.

Posto isto, pode-se dizer acerca das suas teses que, por mais divergentes que possam ser, “devem buscar uma coerência entre si, ou seja, o bem maior da humanidade como um todo, o que implica respeitar-se todo e qualquer pensamento que possa surgir acerca de certa disciplina, quando este tenha grande aceitação”.¹² Em face do disposto, Gisela Hironaka afirma que o papel da bioética deve ser sempre de:

(...) levantar as questões, registrar as inquietações, alinhar as possibilidades de acerto e de erro, de benefício e de malefício, decorrentes do desempenho indiscriminado, não-autorizado, não-limitado e não-regulamentado de práticas biotecnológicas e biomédicas que possam afetar, de qualquer forma, o cerne de importância da vida humana sobre a terra, vale dizer, a dignidade da pessoa humana.¹³

Ademais, com relação ao tema, José Alfredo de Oliveira Baracho levanta a seguinte questão: “Tudo que é técnica e cientificamente possível e factível, pode ser eticamente bom e deverá ser juridicamente obrigatório e permitido?”.¹⁴ Tal questionamento se mostra de suma importância quando se fala em pesquisa, em especial, àquela ligada a genética, frente a tantas inovações que estas têm descoberto, todos os dias, em laboratórios pelo mundo.

A fim de analisar questões como a destacada, a Bioética aperfeiçoa-se a partir de princípios de base que são:¹⁵

- **Princípio da autonomia** ou do respeito às pessoas por suas opiniões e escolhas, segundo valores e crenças pessoais;

⁹ BARBOZA, Heloisa Helena. op. cit., p. 209.

¹⁰ BARBOZA, Heloisa Helena. op. cit., p. 210.

¹¹ LEPARGNEUR, Hubert. **Bioética, novo conceito**: a caminho do consenso. São Paulo: Loyola, 1996. p.16.

¹² GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. In **Políticas Públicas e Bioética**: Estudos em homenagem à professora Dra. Valéria Silva Galdino Cardin. Coordenadores: Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves; Luiz Geraldo do Carmo Gomes; Priscila Kutne Armelin. Maringá: Massoni, 2014, p. 71.

¹³ HIRONAKA, Gisela Maria Fernandes Novaes. Bioética e biodireito. Revolução biotecnológica. Perplexidade humana e perspectiva jurídica inquietante. In **Revista do Instituto de Pesquisas e Estudos da Instituição Toledo de Ensino – Faculdade de Direito de Bauru**, Bauru, n. 33, p. 411–425, dez./mar. 2002, p. 413/414.

¹⁴ Como uma forma de resposta à questão, ensina o autor acerca da finalidade da bioética que: “O nascimento da Bioética e do Biodireito levam à compreensão das exigências práticas e sociais de delimitar o âmbito do lícito e do ilícito provenientes das inovações técnico-científicas. A Bioética não é assimilável, nem ao cientificismo tecnológico extremo, nem ao anti cientificismo ou anti tecnicismo. A Bioética não pretende uma liberação indiscriminada, nem o obscurantismo do progresso científico e tecnológico da Biomedicina. Preocupa-se com a individualização e os critérios regulamentares, para definir o comportamento dos pesquisadores no momento em que interferem ou manipulam. Novas possibilidades da ciência e da técnica Biomédica sobre a vida humana e não humana surgem”. (BARACHO, José Alfredo de Oliveira. Vida humana e ciência: complexidade do estatuto epistemológico da bioética e do biodireito. Normas Internacionais da bioética. In **Revista Forense**, Rio de Janeiro, v. 362, p. 73-108, jul./ago. 2002, p. 88).

¹⁵ BARBOZA, Heloisa Helena. op. cit., p. 211.

- **Princípio da beneficência**, o qual se traduz na obrigação de não causar dano e de estrear os benefícios e minimizar os riscos, envolvendo ações do tipo positivo como prevenir ou eliminar o dano e promover o bem;

- **Princípio da não maleficência** e, segundo o qual, não se deve causar mal a outro;

- **Princípio da justiça** (ou imparcialidade na distribuição dos riscos e dos benefícios), não podendo uma pessoa ser tratada de maneira distinta de outra, salvo se houver entre ambas alguma diferença relevante.

Tais preceitos têm por fim resguardar tanto os profissionais como a sociedade, em geral, que, frente a tantas inovações, encontra-se à mercê destas novas tecnologias. Diego Gracia, no que se refere ao tema, afirma que “é preciso contar com alguns princípios que ajudem os profissionais a decidir agir corretamente, pois a ciência, embora sendo a grande esperança, se apresenta também como uma grande ameaça para a vida humana.”¹⁶

No que concerne ao princípio da autonomia, aduz-se que cabe à pessoa, em virtude de sua autonomia como ser humano e sujeito de direitos, decidir sobre as intervenções terapêuticas que deseja sofrer.¹⁷ Ou seja, no caso da manipulação genética, poderia se dizer que as intervenções somente poderiam se dar em células somáticas, devendo ser proibida qualquer manipulação de células germinativas, posto que os efeitos da modificação seriam transmitidos a seus descendentes, ultrapassando, assim, os limites de sua autonomia, já que se estaria adentrando no campo do genoma humano pertencente à humanidade.¹⁸

Jürgen Habermas, no tocante ao tema, defende que não se pode permitir qualquer tipo de manipulação de células germinativas, asseverando até que qualquer intervenção poderia ser gerar uma responsabilização monetária futura dos pais perante os filhos geneticamente modificados que fossem prejudicados por essa mutação.¹⁹ Ao comentar os ensinamentos do autor citado, Charles Feldhaus avalia que:²⁰

A programação genética de algum modo interfere na autocompreensão normativa indivíduo programado de tal modo que este não pode se entender como único autor de seu projeto de vida, mas sim, com um projeto de vida limitado por preferências subjetivas de terceiros (em geral, seus pais). O tipo de atitude exemplificado pelas práticas eugênicas somente poderia ser exercido sobre coisas e não pessoas. Aqui Habermas parece recorrer à fórmula da humanidade kantiana e a sua distinção correlata entre uma ‘coisa’ e uma ‘pessoa’. Para Kant, uma pessoa é dotada de dignidade ao passo que uma coisa pode ser instrumentalizada. Ou seja, uma coisa pode ser usada ‘apenas como meio’.

No uso das novas técnicas de intervenção no genoma humano, não estão em jogo apenas questões de ordem moral, mas questões de uma espécie totalmente diferente – sobre autocompreensão normativa, a saber, como queremos nos entender ou que identidade queremos assumir enquanto membros da espécie *homo sapiens*. As novas tecnologias parecem ter a consequência de tornar disponível aquilo que, até então, era indisponível e deixado a cargo da natureza e do acaso. Para Habermas, é preciso tornar normativamente indisponível aquilo que, até então, era naturalmente indisponível. É preciso moralizar a natureza humana.

No tocante ao princípio da beneficência, alude-se que este se relaciona à obrigação que se tem de ajudar os outros com ações positivas, ou seja, efetivamente, agindo de forma a ajudar, como, também, está

¹⁶ GRACIA, Diego *apud* CLOTET, Joaquim. Por que Bioética? In **Revista Bioética (CFM)**, Simpósio AIDS e Bioética –1993, Brasília, v. 1, n. 1, p. 13 – 19, 1993, p. 15.

¹⁷ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. *op cit.*, p. 75.

¹⁸ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. *op cit.*, p. 76.

¹⁹ HABERMAS, Jürgen. **O Futuro da Natureza Humana**. Trad. Karina Jannini. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

²⁰ FELDHAUS, Charles. O Futuro da Natureza Humana de Jürgen Habermas: um comentário. In **Revista ethic@**. Caderno de Periódicos da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, v. 4, n. 3, p. 309-319, Dez 2005, p. 310. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/ethic/article/viewFile/20241/18613> Acesso em: 02/03/23.

ligado a ideia de uma ação negativa, de não causar danos, que é a não maleficência (terceiro princípio) e, ainda, de procurar o seu bem, sem que para isso cause qualquer mal a outrem.²¹ Ou seja, com base na beneficência e na não maleficência, deve-se buscar maximizar os benefícios e minimizar os prejuízos, através do maior número de informação técnica possível que possa garantir segurança nas pesquisas.

Relativamente ao princípio da justiça ou imparcialidade na distribuição dos riscos e dos benefícios, implica em não se dar a uma pessoa tratamento diverso daquele dado a outra, salvo haja entre ambas algumas diferenças relevantes.²² Seria a aplicação da ideia de equidade ou igualdade aristotélica, que implica em tratar os iguais de forma igual e os desiguais, de acordo com sua desigualdade.²³

Acerca dos princípios que norteiam à bioética, aduz Heloísa Helena Barbosa:

A formulação de tais princípios se dá de modo amplo, para que possam reger desde a experimentação com seres humanos até a prática clínica e assistencial. Sua observância deve ser obrigatória, sempre e quando não entrem em conflito entre si, caso em que se hierarquizam conforme a situação concreta, o que significa dizer que não há regras prévias que deem prioridade a um princípio sobre outro, havendo a necessidade de se chegar a um consenso entre todos os envolvidos, o que constitui o objetivo fundamental dos comitês institucionais de ética.²⁴

E, ainda, o Prof. Joaquim Clotet:

A bioética precisa, portanto, de um paradigma de referência antropológico-moral que, implicitamente, já foi colocado: o valor supremo da pessoa, da sua vida, liberdade e autonomia. Esse princípio, porém, às vezes parece conflitar com aquele outro, relativo à qualidade de vida digna que merecem ter o homem e a mulher. Nem sempre os dois princípios se amoldam perfeitamente sem conflitos, no mesmo caso. Sabemos por própria experiência que, em determinadas circunstâncias, não é fácil tomar uma decisão. Constitui uma tarefa da bioética fornecer os meios para fazer uma opção racional de caráter moral referente à vida, saúde ou morte, em situações especiais, reconhecendo que esta determinação terá de ser dialogada, compartilhada e decidida entre pessoas com valores morais diferentes.²⁵

Em sendo assim, pode-se afirmar como correta e necessária a aplicação dos princípios bioéticos em toda e qualquer pesquisa, sendo de maior relevância ainda naquelas que envolvam seres humanos, frisando-se como importante que “toda pesquisa que os envolva, tanto em função da própria ética como em decorrência de vários dispositivos que assim determinam, deve ser realizada para o benefício daqueles que nela se incluem, e nunca para o seu sacrifício”²⁶.

Nesse sentido, aduz Volnei Garrafa que se faz necessário que com relação às pesquisas científicas vistas a partir do viés da bioética, se trabalhe a partir da “ética da responsabilidade”, em vez da ideia de liberdade. Em suas palavras:

Poderão resultar desastrosas as consequências de modificações que venham a ser introduzidas com relação a novas formas biológicas legais de controle sobre o nascimento, sobre a vida e sobre a morte do ser humano. O discurso aqui defendido ao contrário de propor um freio para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, refere-se, fundamentalmente à transformação da ética da liberdade científica em uma nova ética da responsabilidade científica (...) e a análise mais

²¹ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. op cit., p. 76.

²² Ibidem.

²³ ARISTÓTELES. *Ética a Nicômaco*. 6. ed. São Paulo: Martin Claret, 2013.

²⁴ BARBOZA, Heloisa Helena. op. cit., p. 212.

²⁵ CLOTET, Joaquim. op. cit., p. 16.

²⁶ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. op cit., p. 77.

responsável de fatores que possam vir a se constituir em elementos negativos e determinantes para o futuro da humanidade.²⁷

Ernesto Lima Gonçalves, acerca do tema, complementa:

(...) a 'ciência caminha mais depressa que o homem', o que coloca a necessidade de introduzir o conceito ético nessa avaliação. É tempo de se impor limites à concepção cada vez mais utilitarista e hedonista do homem diante da ciência e da medicina, pelo reconhecimento de que a identidade humana é estruturada a partir do conjunto corpo e espírito e de que respeitar o corpo humano, em todas as suas dimensões e fases evolutivas – antes de nascer, no nascimento, no viver, no sofrer e no morrer –, significa respeitar a dignidade.²⁸

Destaca-se ainda que a Bioética não tem um viés normativo, posto que a esta apenas é outorgado o dever de levantar questões e alinhar “as possibilidades de acerto e erro, de benefício e de malefício”, que surgem com as práticas biotecnológicas e biomédicas sem que estas sejam devidamente regularizadas, as quais dessa maneira, “possam afetar, de qualquer forma, o cerne de importância da vida humana sobre a terra, vale dizer, a dignidade da pessoa humana”.²⁹

Frente à necessidade de normatização que fez surgir o Biodireito, ramo do direito que estuda as questões relacionadas ao direito à saúde e as atividades profissionais ligadas a esta, em especial a área médica, bem como também as pesquisas científicas ligadas à vida humana.

Em sendo assim, cabe ao Biodireito analisar e prescrever o que é ou não permitido quanto aos comportamentos médicos científicos, a fim de estabelecer parâmetros de conduta, bem como sanções pelo seu descumprimento³⁰, para a realização de pesquisas que possam interferir no “futuro da natureza humana”.³¹

Como se disse, a discussão trazida pela Bioética é de fundamental importância para a evolução e estabelecimento de parâmetros éticos³², a fim de se manter a “autocompreensão ética da espécie”³³, a falta da normatividade apenas gera uma reprovação social da conduta, o que poderia implicar em uma realização indiscriminada de condutas antiéticas.

Outrossim, com o Biodireito, a coercitividade inerente a este e a sua possibilidade de constranger ao cumprimento das suas prescrições, tem um papel essencial na criação de limites à pesquisa, tendo sempre como valor fundante a alteridade, solidariedade e a dignidade da pessoa humana.³⁴

²⁷ GARRAFA, Volnei. O Mercado de Estruturas Humanas. In **Revista Bioética (CFM)**, Simpósio Pacientes Terminais -1993, Brasília, v. 1, n. 2, p. 115– 123, 1993, p. 121.

²⁸ GONÇALVES, Ernesto Lima. Situações Novas e Novos Desafios para a Bioética. In **Revista Bioética (CFM)**, Simpósio Aborto -1994, Brasília, v. 2, n. 1, p. 13– 18, 1994, p. 14.

²⁹ HIRONAKA, Giselda Maria Fernandes Novaes. Bioética e biodireito. Revolução biotecnológica. Perplexidade humana e perspectiva jurídica inquietante. In **Revista do Instituto de Pesquisas e Estudos da Instituição Toledo de Ensino – Faculdade de Direito de Bauru**, Bauru, n. 33, p. 411–425, dez./mar. 2002, p. 413/414.

³⁰ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. op cit., p. 77.

³¹ HABERMAS, Jürgen. op cit.

³² GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. op cit., p. 80.

³³ HABERMAS, Jürgen. op cit.

³⁴ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. op cit., p. 80.

3 A TÉCNICA DE EDIÇÃO GENÉTICA CRISPR/CAS9: BREVE ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS E RISCOS

Com o crescente desenvolvimento da tecnologia, bem como com sua popularização, as ferramentas moleculares não ficaram para trás nesse sentido. A partir da observação de como as bactérias combatem os vírus, foi descoberto algo capaz de transformar a vida humana: uma ferramenta de manuseio simples capaz de editar a estrutura do DNA.

O CRISPR (do inglês *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeat*), como foi batizada, abriu um novo mundo de milagres da medicina e levantou delicadas questões éticas.³⁵ Isaacson ainda diz sobre a tecnologia:

A descoberta do CRISPR e o flagelo da COVID-19 apressarão nossa transição para a terceira grande revolução da modernidade. Essas revoluções surgiram pouco mais de um século atrás com a descoberta de três núcleos fundamentais da nossa existência: o átomo, o bit e o gene.³⁶

A edição do genoma toma um lugar de destaque dentre as ferramentas biotecnológicas que permitem a engenharia genética, por meio da inserção, exclusão ou substituição de bases no genoma em um local pré-determinado.³⁷

Até o presente momento, a tecnologia de edição de genes apresentou três principais estágios de desenvolvimento: a primeira geração corresponde as nucleases de dedo de zinco (ZFNs); a segunda geração foi a das nucleases efetoras semelhantes a ativadores de transcrição (TALENs); e, por fim, a terceira geração e a mais amplamente usada é a das repetições palindrômicas curtas regularmente espaçadas (CRISPR) e a proteína 9 associada (Cas). Essa tecnologia, em contraposição as das gerações anteriores, direciona as proteínas Cas para um local específico no genoma, alterando a sequência de bases de um pequeno segmento de segmento de RNA guia, melhorando assim a eficiência da edição de genes, bem como sua aplicabilidade.³⁸

A CRISPR e suas proteínas associadas (Cas) estão ligadas à imunidade adaptativa, ou seja, aquela gerada ao longo da vida, que tem como alvo o DNA viral estranho; ela evoluiu naturalmente em bactérias e arqueas como um mecanismo de defesa contra a infecção por fagos e a transferência de plasmídeos.³⁹ A tecnologia tem uma atenção globalizada atualmente, especialmente devido ao fato de que, em outubro de 2020, o Prêmio Nobel de Química foi concedido à microbiologista francesa Emmanuelle Charpentier e à bióloga americana Jennifer Doudna pelo "desenvolvimento de uma nova abordagem para a edição do genoma".⁴⁰

Atualmente, o sistema CRISPR/Cas9 se tornou a ferramenta de edição de genoma mais bem-sucedida, pois pode ser facilmente reprogramado para atingir novas sequências de DNA ou RNA em qualquer organismo vivo. Dentre as diversas aplicações do CRISPR/Cas9, uma das aplicações mais interessantes está relacionada ao seu potencial uso em tratamentos de distúrbios genéticos causados por

³⁵ ISAACSON, Walter. A decodificadora: Jennifer Doudna, edição de genes e o futuro da espécie humana. Rio de Janeiro: **Intrínseca**, 2021.

³⁶ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 15.

³⁷ BOUBAKRI, H. Recent progress in CRISPR/Cas9-based genome editing for enhancing plant disease resistance. In Revista **Gene**, v. 866, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2023.147334>. Acesso em: 10/03/23.

³⁸ LI, T.; YANG, Y.; QI, H. *et al.* CRISPR/Cas9 therapeutics: progress and prospects. In Revista **Sig Transduct Target Ther**, 8, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01309-7>. Acesso em: 10/03/23.

³⁹ LI, T.; YANG, Y.; QI, H. *et al.* CRISPR/Cas9 therapeutics: progress and prospects. op. cit.

⁴⁰ LI, T.; YANG, Y.; QI, H. *et al.* CRISPR/Cas9 therapeutics: progress and prospects. op. cit.

mutações em um único gene, como por exemplo, a fibrose cística (FC)⁴¹, distrofia muscular de Duchenne (DMD)⁴²⁻⁴³, doenças infecciosas, como é o caso do HIV⁴⁴, assim como as hemoglobinopatias⁴⁵, sendo a anemia falciforme uma das melhores candidatas para edição de gene *ex vivo*, uma vez que envolve células sanguíneas que podem ser facilmente distraídas e reinseridas⁴⁶; todavia, até o momento, essa abordagem foi validada em modelos pré-clínicos.

Estão em andamento trabalhos com usos mais ambiciosos da ferramenta que poderia tornar-nos menos vulneráveis a cânceres, Alzheimer e outras doenças, além das pandemias.⁴⁷⁻⁴⁸ Somadas a ferramentas diagnósticas baseadas em CRISPR que podem vir a ser utilizadas em tumores e identificar com precisão e rapidez a sequência de DNA associadas a diferentes tipos de câncer⁴⁹, podem auxiliar em tratamentos mais precisos para a individualidade de cada paciente.⁵⁰ Assim como o desenvolvimento de possíveis tratamentos para angioedema, leucemia mielogênica aguda colesterol alto e calvície masculina.⁵¹

Todavia, apesar dos potenciais medicinais do uso da técnica, ainda existem preocupações em torno da aplicação do CRISPR, especialmente se o tratamento for realizado *in vivo*, uma vez que as edições não intencionais do genoma podem ter profundas complicações de longo prazo para os pacientes, inclusive malignidade.⁵²

Grande parte da atenção dedicada à técnica hoje, envolve seu potencial de edições herdáveis na linha germinativa em seres humanos, as quais serão transferidas para as células de todos os futuros descendentes, e que tem potencial de alterar a nossa espécie.⁵³

Com o desenvolvimento e a popularização, bem como o conhecimento da tecnologia, ela está à beira de se tornar fácil o suficiente para não ficar confinada a laboratórios regulamentados, podendo vir a seguir o caminho da evolução de revolução digital.⁵⁴

O rápido progresso da Cas9 como ferramenta de edição do genoma tem um potencial transformador para as mais distintas aplicações, as quais vão desde tratamentos clínicos até a produção agrícola, bem como o controle populacional de espécies de insetos transmissores de doenças. Em

⁴¹ SCHWANK, G.; KOO, B.K.; SASSELLI, V.; et al. Functional repair of CFTR by CRISPR/Cas9 in intestinal stem cell organoids of cystic fibrosis patients. In Revista Cell Stem Cell, 13:653–8, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.stem.2013.11.002> Acesso em: 10/03/23.

⁴² TABEBORDBAR, M.; ZHU, K.; CHENG, J.K.; et al. In vivo gene editing in dystrophic mouse muscle and muscle stem cells. In Revista Science, 351:407–11, 2016.

⁴³ NELSON, C.E.; HAKIM, C.H.; OUSTEROUT, D.G.; et al. In vivo genome editing improves muscle function in a mouse model of Duchenne muscular dystrophy. In Revista Science, 351:403–7, 2016.

⁴⁴ HU, W.; KAMINSKI, R.; YANG, F.; et al. RNA-directed gene editing specifically eradicates latent and prevents new HIV-1 infection. In Revista Proc Natl Acad Sci USA, 111:11461–6, 2014.

⁴⁵ CANVER, M.C.; SMITH, E.C.; SHER, F.; et al. BCL11A enhancer dissection by Cas9-mediated in situ saturating mutagenesis. In Revista Nature, 527:192–7, 2015.

⁴⁶ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 264.

⁴⁷ BEGLEY, Sharon. CRISPR Babies' Lab Asked U.S. Scientist for Help to Disable Cholesterol Gene in Human Embryos. In Revista Stat, 2018. Disponível em: <https://www.statnews.com/2018/12/04/crispr-babies-cholesterol-gene-editing/> Acesso em: 10/03/23.

⁴⁸ KING, Anthony. A CRISPR Edit for Heart Disease. In Revista Nature 555, S23-S25, 2018.

⁴⁹ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 268.

⁵⁰ FORD, Tyler. CRISPR Diagnostics in Cancer Treatments. In Revista Mammoth Biosciences, 2019. Disponível em: <https://mammoth.bio/2019/06/11/crispr-diagnostics-in-cancer-treatment/> Acesso em: 10/03/23.

⁵¹ PORTEUS, Matthew. A New Class of Medicines through DNA Editing. In New England Journal of Medicine, 2019.

⁵² REDMAN, M.; KING, A.; WATSON, C.; KING, D. What is CRISPR/Cas9? In Archives of Disease in Childhood - Education and Practice, 101:213-215, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/archdischild-2016-310459> Acesso em: 10/03/23.

⁵³ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 263.

⁵⁴ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 274.

contrapartida, o avanço rápido também traz consigo desafios em relação as regulações que regem suas aplicações seguras, protegidas e éticas.⁵⁵

É inteligível que os limites, dentre os quais a CRISPR/Cas9 pode ser usada, ainda não foram totalmente determinados, e que estes devem ser superados antes do potencial se concretizar praticamente.⁵⁶⁻⁵⁷

Levando em consideração que, em 2014, foi descrito como seria possível projetar um vírus capaz de transportar componentes CRISPR para dentro de camundongos, e editar um gene para que o animal desenvolvesse câncer de pulmão. Esse fato levou a uma percepção clara de que um ajuste ou um erro no guia poderiam facilmente fazer isso funcionar em pulmões humanos.⁵⁸ A possibilidade de que a técnica pudesse vir a ser utilizada por *hackers* e terroristas ou adversários estrangeiros começou a preocupar, mesmo que o anti-CRISPR poderia ser utilizado para pôr um fim à genética dirigida, além de ser útil para modular ou para a edição CRISPR-Cas9 ao ser aplicado em células humanas.⁵⁹⁻⁶⁰

A desigualdade abrange uma questão moral de relevância, especialmente se as pessoas ricas forem capazes de comprar melhorias genéticas para os filhos, uma vez que isso poderia vir a criar um fosso genético que aumentaria ainda mais a cada geração, seria como se as camadas econômicas fossem traduzidas geneticamente e transcrevesse nossas desigualdades financeiras em nosso código genético.⁶¹

Em contraposição, todos os avanços médicos tem por objetivo base a correção de algo que ocorreu naturalmente, com isso, pode-se dizer que algumas vezes a natureza faz coisas que são cruéis, e há muitas mutações que causam sofrimento enorme.⁶²

Dito isso, uma ponderação citada por Walter Isaacson em 2015, deve ser objeto de reflexão: “Algum dia pode ser que a gente considere antiético não usar a edição de linha germinativa para aliviar o sofrimento humano”.⁶³ E, realmente isto é uma preocupação posto que tais modificações, como se disse anteriormente, herdáveis na linha germinativa em seres humanos, poderão ser transferidas para as células dos futuros descendentes, tendo, portanto, potencial de alterar a nossa espécie.⁶⁴

Quando Habermas tratou de questões éticas ligadas a mutação de genes na obra “O Futuro da Natureza Humana”, não existia ainda o tipo de edição genética que a CRISPR/CAS9 hoje proporciona (e com as possibilidades que isso traz) mas, mesmo assim, trouxe situações éticas que se aplicam claramente a discussão que se evoca nesta pesquisa, a de que as intervenções eugênicas prejudicam a liberdade ética com relação a formação da própria pessoa, posto que esta passa a ser resultado de algo previamente pensado/modificado por um terceiro que podem vir a ser rejeitadas por àquele que as recebeu mas que não

⁵⁵ WANG, R.; LA RUSSA, M.; QI, L.S. CRISPR/Cas9 in Genome Editing and Beyond. In **The Annual Review of Biochemistry**, 85:22.1–22.38, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-060815-014607> Acesso em: 10/03/23.

⁵⁶ MEI, Y.; WANG, Y.; CHEN, H.; SUN, Z.S.; JU, X.-D., Recent progress in CRISPR/Cas9 technology, In **Journal of Genetics and Genomics**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2016.01.001>. Acesso em: 10/03/23.

⁵⁷ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 376.

⁵⁸ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 277.

⁵⁹ SHIN, J.; JIANG, F.; LIU, J.J.; BRAY, N.L.; RAUCH, B.J.; BAIK, S.H.; NOGALES, E.; BONDY-DENOMY, J.; CORN, J.E., DOUDNA, J.A. Disabling Cas9 by na Anti-CRISPR DNA Mimic. In **Revista Sci. Adv.**, 3, e1701620, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701620> Acesso em: 10/03/23.

⁶⁰ MARINO, N.D.; PINILLA-REDONDO, R.; Csörgő, B.; Bondy-Denomy, J. Anti-CRISPR protein applications: natural brakes for CRISPR-Cas technologies. In **Revista Nature Methods**, 17(5):471-479. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41592-020-0771-6>. Acesso em: 10/03/23.

⁶¹ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 389.

⁶² ISAACSON, Walter. op. cit., p. 387.

⁶³ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 387.

⁶⁴ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 263.

tem condições de modificá-las, pois passaram a ser parte de seu DNA e, portanto, tornaram-se irreversíveis.⁶⁵ Nesse sentido afirma:

Obviamente, nossas sociedades estão marcadas por uma violência manifesta e estrutural. Elas estão impregnadas com o micropoder de repressões silenciosas e são deturpadas pela opressão despótica, pela privação dos direitos políticos, pela destituição dos poderes sociais e pela exploração econômica. Não poderíamos nos indignar a esse respeito se não soubéssemos que essas situações humilhantes também poderiam ser diferentes. A convicção de que todas as pessoas recebem o mesmo status normativo e devem umas às outras um reconhecimento recíproco e simétrico parte de uma reversibilidade fundamental das relações inter-humanas. Ninguém pode depender do outro de modo fundamentalmente irreversível.

Com a programação genética, surge, no entanto, uma relação assimétrica em muitos aspectos - um paternalismo *sui generis*.

Diferentemente da dependência social da relação pais-e-filhos, que sempre se desfaz com o acesso das crianças à idade adulta, na medida em que as gerações vão se sucedendo, por certo a dependência genealógica dos filhos em relação aos pais não é reversível. Os pais geram os filhos, mas os filhos não geram os pais. Todavia, essa dependência refere-se unicamente à existência, que pode ser censurada apenas de forma notadamente abstrata, e não à essência dos filhos, nem a alguma determinação qualitativa de sua vida futura. Em comparação com a dependência social, a dependência genética da pessoa programada concentra-se num único ato imputável ao programador. Porém, no âmbito de uma prática eugênica, atos desse tipo - omissões bem como ações - fundamentam uma relação social, que suprime a "reciprocidade" habitual "entre pessoas que nasceram do mesmo modo". O planejador do programa dispõe unilateralmente, sem supor o consenso fundamentado, da constituição genética de uma outra pessoa, com o propósito paternalista de dar um encaminhamento relevante para a história de vida do dependente. A intenção pode ser interpretada por este último, mas não revista nem desfeita. Irreversíveis são as consequências, pois a intenção paternalista sintetiza-se num programa genético desarmado, e não numa prática socializante, mediada pela comunicação, que pode ser recuperada pelo "pupilo".

À irreversibilidade das consequências de manipulações genéticas parcialmente realizadas a partir de uma decisão unilateral significa uma responsabilidade problemática para aquele que se julga capaz de tal decisão. Porém, será que ela precisa significar de per si para a pessoa atingida uma limitação de sua autonomia moral? Todas as pessoas, mesmo as nascidas naturalmente, dependem do seu programa genético de uma maneira ou de outra. A dependência em relação a um programa genético estabelecido intencionalmente é relevante para a autocompreensão moral da pessoa programada por outra razão. Por princípio, nega-se-lhe a possibilidade de trocar de papel com seu programador. Em poucas palavras, o produto pode não esboçar um design para o seu designer. Nesse caso, interessa-nos a programação não sob o ponto de vista de ela limitar ou não o poder ser si mesmo e a liberdade ética de outra pessoa, mas sob o aspecto de se e como ela eventualmente impede uma relação simétrica entre o programador e o produto "desenhado" de tal maneira. A programação eugênica estabelece uma dependência entre pessoas que sabem que, para elas, por princípio está excluída a possibilidade de trocarem seus lugares sociais. Contudo, tal dependência social, que é irreversível, já que sua ancoragem social depende do que ela instaurou de modo atributivo, forma um corpo estranho nas relações recíprocas e simétricas de reconhecimento, que caracterizam uma comunidade moral e jurídica de pessoas livres e iguais. (grifou-se)⁶⁶

Como outrora dito, as possibilidades trazidas pela tecnologia da CRISPR/CAS9, se empregadas sem critérios éticos e limites legais, poderão ser utilizadas de forma indevida por certas camadas mais abastadas da população para comprar melhorias genéticas para os filhos a fim de lhes proporcionar mais vantagens ou, por outro lado, poderiam também ser utilizadas para criar pessoas geneticamente modificadas para a realização de certas atividades não queridas por outros. Isso acarretaria na criação de diferenças sociais em âmbito genético, as quais seriam imutáveis, e que aumentariam a cada geração, fazendo com que as camadas

⁶⁵ HABERMAS, op. cit. 86-87.

⁶⁶ HABERMAS, op. cit. 88-90.

econômicas fossem traduzidas geneticamente e transcrevessem nossas desigualdades financeiras em nosso código genético.⁶⁷

4 CONCLUSÃO

Todo ser humano deve ser respeitado pela sua essência, e não deve ser tratado como coisa, ou como um mero objeto com o qual se pode realizar experimentos. Estes, somente devem ser realizados em prol do bem-estar daquele que está em discussão e nunca, em prol de outros. Uma vida humana não vale menos do que outra de modo a ser por ela menosprezada.⁶⁸

Partindo-se da premissa de que todo ser humano deve ser tratado como ser único que é, e dadas devidas considerações já realizadas com relação à aplicação da edição de genoma por meio do sistema CRISPR/Cas9 com o qual se pode facilmente reprogramar o DNA ou RNA em qualquer organismo vivo, entende-se que, a partir do disposto nos princípios bioéticos da autonomia, beneficência, não maleficência e justiça, que a realização de pesquisas aplicando esta tecnologia somente se deve realizar quando esta for feita para a realização de tratamentos e desde que estes estejam devidamente autorizados pela pessoa, tenham potencial de lhe gerar cura ou, pelo menos, mais bem estar, seja sem riscos de dano e, não traga qualquer condição eugênica em sua base.

Em sendo assim, é plenamente aceitável e até recomendado, a aplicação dessa tecnologia para o tratamento de distúrbios genéticos como, por exemplo, a fibrose cística (FC), a distrofia muscular de Duchenne (DMD), doenças infecciosas, como é o caso do HIV, assim como as hemoglobinopatias (anemia falciforme), ou mesmo avanços no combate aos diversos tipos de câncer, Alzheimer e outras doenças, bem como evitar novas pandemias. Ou seja, é concebível o uso desta tecnologia na busca do aprimoramento de tratamentos para os mais diferentes tipos de doenças e, até mesmo para o controle de bactérias e vírus potencialmente avassaladores como, por exemplo, o Coronavírus (COVID-19) que causou a morte de tantas pessoas pelo mundo.

Por outro lado, apesar do potencial uso medicinal da técnica, ainda existem preocupações em torno da aplicação do CRISPR/CAS9, especialmente se o tratamento for realizado *in vivo*, porque, como se disse anteriormente, as edições não intencionais do genoma podem ter profundas complicações de longo prazo para os pacientes, inclusive riscos de danos irreversíveis.

Ademais, pelo fato dessa ferramenta ter um potencial aparentemente ilimitado, a preocupação que tem surgido é a de que a mesma possa vir a ser utilizada por *hackers*, terroristas ou adversários estrangeiros em guerras biológicas, criando-se armas para o bioterrorismo a partir de vírus, bactérias ou, até mesmo insetos contaminados.⁶⁹

⁶⁷ ISAACSON, Walter. op. cit., p. 389.

⁶⁸ GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis. **O direito à vida e o direito de um viver melhor – um conflito de direitos fundamentais**. op. cit., p. 253.

⁶⁹ “Nos últimos tempos vieram à tona, pela mídia, inúmeras notícias sobre o uso destas armas, tornando claro o risco de seu uso contra soldados e populações civis. A guerra biológica moderna criou, assim, um novo problema. Ao atingir tropas e populações civis indiscriminadamente, apresenta grande potencial para desencadear epidemias em larga escala, o que as torna armas de destruição em massa, com grande efeito residual. A análise das características dos últimos conflitos mundiais, das guerras subsequentes onde foram empregadas armas biológicas e seu uso recente por grupos terroristas, deixa claro que estas armas deverão ter papel preponderante em: guerras declaradas entre países; guerras civis; uso de um governo contra grupos étnicos, religiosos ou contra um indivíduo; uso de um país contra outro país sem estado de guerra declarado; uso

Na contemporaneidade, situações geradas por meio de *biohackers* fazendo o uso da técnica de edição de genoma por meio da CRISPR/Cas9 foram destacadas no documentário apresentado na plataforma de *streaming* Netflix denominado “Seleção Artificial” (2019), onde, em quatro episódios, apresentam-se algumas situações que vem sendo realizadas e as preocupações da comunidade científica com as mesmas.

Outrossim, outras preocupações ainda existem no sentido de se criar mais um sistema de desigualdade social a partir da genética, posto que essa tecnologia poderia vir a ser utilizada por pessoas ricas para comprar melhorias genéticas para os filhos, ou seja, por meio de eugenia, criar-se-ia além de uma distância econômica, uma desigualdade genética dando a certas (e pequenas) camadas da população uma vantagem gênica. Como se disse anteriormente, isto seria como se as camadas econômicas fossem traduzidas geneticamente e transcrevesse nossas desigualdades financeiras e sociais em nosso código genético.

Além disso, todas essas mudanças seriam herdáveis na linha germinativa em seres humanos, podendo ser transferidas para as células dos futuros descendentes, tendo, portanto, potencial de alterar a nossa espécie, criando um fosso genético.

Antecedentemente, se tratou das preocupações com o tema engenharia genética, trazidas pelo filósofo alemão Jürgen Habermas a respeito das intervenções eugênicas e como estas prejudicam a liberdade ética com relação à formação da própria pessoa. Para o autor, o indivíduo que sofre mutações, passa a ser resultado de algo previamente pensado/modificado por um terceiro, o que pode vir a ser rejeitado por àquele que as recebeu, mas que não tem condições de modificá-las, pois passaram a ser parte de seu DNA e, portanto, tornaram-se irreversíveis. E isso, será passado à frente por intermédio de seus herdeiros, sendo, portanto, um caminho sem volta.

Isto posto, buscou-se demonstrar que apesar dos grandes avanços que a técnica de edição de genoma por meio da CRISPR/Cas9 pode trazer, principalmente para área da saúde, também há grandes riscos associados, os quais necessitam, para que sejam minorados, de discussões adequadas de quais seriam os limites éticos e legais a serem aplicados, sempre voltando-se a ideia de que os princípios bioéticos devem ser o norte a ser seguido a fim de que se respeite o fato de que toda vida humana é valorosa por si, não podendo ser objeto de coisificação, devendo, portanto, ser tratada com dignidade.

Portanto, toda pesquisa deve ter como base a ideia de gerar maior bem-estar às pessoas nela envolvidas, tendo em vista que qualquer tecnologia deve estar a serviço do homem e não o contrário. Dito isto, entende-se que tal fato não deve apenas ser pensado de forma individualizada, mas também em escala global a fim de que essa técnica apenas seja utilizada para melhorar a qualidade de vida das pessoas como um todo, e não de apenas algumas poucas que tem acesso financeiro a elas. Portanto, para que seja utilizada de forma correta, deve ser objeto de um rígido controle legal e de vigilância dos Estados e de todas as pessoas, as quais devem ser informadas dos avanços obtidos e potenciais riscos.

por terroristas. Entre as principais características que propiciam a difusão da tecnologia de armas biológicas e o seu conseqüente amplo uso destacam-se: agentes biológicos são relativamente fáceis de produzir, de esconder e podem ser dispersos com uma simples embalagem spray de perfume; pessoas com treinamento básico em microbiologia podem, com poucos recursos, desenvolver armas biológicas simples e eficazes; seu uso é difícil de detectar e comprovar”. (TUTUNJI, Valdi Lopes. Guerra biológica: uma revisão. In Revista Universitas Ciências da Saúde - vol.01 n.01 - pp. 105-139, 2003, p. 106. Disponível em: <https://doi.org/10.5102/ucs.v1i1.500>, Acesso em: 11/06/23).

REFERÊNCIAS

- ALARCÓN, Pietro de Jesús Lora. Patrimônio genético humano e sua proteção na Constituição Federal de 1988. São Paulo: Método, 2004.
- ARISTÓTELES. Ética a Nicômaco. 6. ed. São Paulo: Martin Claret, 2013.
- BARACHO, José Alfredo de Oliveira. Vida humana e ciência: complexidade do estatuto epistemológico da bioética e do biodireito. Normas Internacionais da bioética. In Revista Forense, Rio de Janeiro, v. 362, p. 73-108, jul./ago. 2002.
- BARBOZA, Heloisa Helena. Princípios da Bioética e do Biodireito. In: Revista Bioética (CFM), Simpósio Princípios da Bioética e do Biodireito - 2000, Brasília, v. 8, n. 2, p. 209 – 216, 2000.
- BEGLEY, Sharon. CRISPR Babies' Lab Asked U.S. Scientist for Help to Disable Cholesterol Gene in Human Embryos. In Revista Stat, 2018. Disponível em: <https://www.statnews.com/2018/12/04/crispr-babies-cholesterol-gene-editing/> Acesso em: 10/03/2023.
- BOUBAKRI, H. Recent progress in CRISPR/Cas9-based genome editing for enhancing plant disease resistance. In Revista Gene, v. 866, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2023.147334> Acesso em: 10/03/23.
- CANVER, M.C.; SMITH, E.C.; SHER, F.; et al. BCL11A enhancer dissection by Cas9-mediated in situ saturating mutagenesis. In Revista Nature, 527:192–7, 2015.
- CLOTET, Joaquim. Por que Bioética? In Revista Bioética (CFM), Simpósio AIDS e Bioética-1993, Brasília, v. 1, n. 1, p. 13 – 19, 1993.
- COHEN, Cláudio. SEGRE, Marcos. Breve discurso sobre valores, moral, eticidade e ética. In Revista Bioética (CFM), Simpósio Aborto-1994, Brasília, v. 2, n° 1, p. 19-24, 1994.
- FELDHAUS, Charles. O Futuro da Natureza Humana de Jürgen Habermas: um comentário. In Revista ethic@. Caderno de Periódicos da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, v. 4, n. 3, p. 309-319, Dez 2005. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/ethic/article/viewFile/20241/18613> Acesso em: 02/03/23.
- GARCIA, E.S. Manipulação genética. In Genes: fatos e fantasias [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2006, pp. 79-106. ISBN: 978-65-5708- 102-0. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786557081020.0006>. Acesso em: 10/06/23.
- FORD, Tyler. CRISPR Diagnostics in Cancer Treatments. In Revista Mammoth Biosciences, 2019. Disponível em: <https://mammoth.bio/2019/06/11/crispr-diagnostics-in-cancer-treatment/>, Acesso em: 10/03/2023.
- GONÇALVES, Ernesto Lima. Situações Novas e Novos Desafios para a Bioética. In Revista Bioética (CFM), Simpósio Aborto-1994, Brasília, v. 2, n. 1, p. 13– 18, 1994.
- GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves. ARMELIN, Priscila Kutne. Bioética e direito: uma interseção pelo biodireito. In Políticas Públicas e Bioética: Estudos em homenagem à professora Dra.

Valéria Silva Galdino Cardin. Coordenadores: Juliana Rui Fernandes dos Reis Gonçalves; Luiz Geraldo do Carmo Gomes; Priscila Kutne Armelin. Maringá: Massoni, 2014.

GONÇALVES, Juliana Rui Fernandes dos Reis. O direito à vida e o direito de um viver melhor – um conflito de direitos fundamentais. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, – Maringá, PR [s.n], 2005. 300f.

HABERMAS, Jürgen. O Futuro da Natureza Humana. Trad. Karina Jannini. São Paulo: Martins Fontes, 2004.

HIRONAKA, Giselda Maria Fernandes Novaes. Bioética e biodireito. Revolução biotecnológica. Perplexidade humana e prospectiva jurídica inquietante. In Revista do Instituto de Pesquisas e Estudos da Instituição Toledo de Ensino – Faculdade de Direito de Bauru, Bauru, n. 33, p. 411–425, dez./mar. 2002.

HU, W.; KAMINSKI, R.; YANG, F.; et al. RNA-directed gene editing specifically eradicates latent and prevents new HIV-1 infection. In Revista Proc Natl Acad Sci USA, 111:11461–6, 2014.

HUXLEY, Aldous. Admirável mundo novo. Tradução de Vidal de Oliveira e Lino Vallandro. 26^a. ed. São Paulo: Globo, 2000.

ISAACSON, Walter. A decodificadora: Jennifer Doudna, edição de genes e o futuro da espécie humana. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2021.

KING, Anthony. A CRISPR Edit for Heart Disease. In Revista *Nature* 555, S23-S25, 2018

LEPARGNEUR, Hubert. Bioética, novo conceito: a caminho do consenso. São Paulo: Loyola, 1996.

LI, T.; YANG, Y.; QI, H. et al. CRISPR/Cas9 therapeutics: progress and prospects. In Sig Transduct Target Ther, v. 8, article number:36, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01309-7>, Acesso em: 10/03/2023.

MARINO, N.D.; PINILLA-REDONDO, R.; Csörgő, B.; Bondy-Denomy, J. Anti-CRISPR protein applications: natural brakes for CRISPR-Cas technologies. In Revista Nature Methods, 17(5):471-479. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41592-020-0771-6>. Acesso em: 10/03/2023.

MEI, Y.; WANG, Y.; CHEN, H.; SUN, Z.S.; JU, X.-D., Recent progress in CRISPR/Cas9 technology, In Journal of Genetics and Genomics, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2016.01.001> Acesso em: 10/03/2023.

NELSON, C.E.; HAKIM, C.H.; OUSTEROUT, D.G.; et al. In vivo genome editing improves muscle function in a mouse model of Duchenne muscular dystrophy. In Revista Science, 351:403–7, 2016.

PERGORARO, Orinto A. Ética e Bioética. Da subsistência à existência. Petrópolis: Editora Vozes, 2002.

PORTEUS, Matthew. A New Class of Medicines through DNA Editing. In New England Journal of Medicine, 2019.

REDMAN, M.; KING, A.; WATSON, C.; KING, D. What is CRISPR/Cas9? In Archives of Disease in Childhood - Education and Practice, 101:213-215, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/archdischild-2016-310459> Acesso em: 10/03/2023.

SCHWANK, G.; KOO, BK.; SASSELLI, V.; et al. Functional repair of CFTR by CRISPR/Cas9 in intestinal stem cell organoids of cystic fibrosis patients. In *Revista Cell Stem Cell*, 13:653–8, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.stem.2013.11.002> Acesso em: 10/03/2023.

SGRECCIA, Elio. *Manual de Bioética: I- fundamentos da ética médica*, 2. ed. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

SHIN, J.; JIANG, F.; LIU, J.J.; BRAY, N.L.; RAUCH, B.J.; BAIK, S.H.; NOGALES, E.; BONDY-DENOMY, J.; CORN, J.E., DOUDNA, J.A. Disabling Cas9 by na Anti-CRISPR DNA Mimic. In *Revista Sci. Adv.*, 3, e1701620, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701620> Acesso em: 10/03/2023.

SILVA, Franklin Leopoldo. Breve Panorama Histórico da Ética. In *Revista Bioética (CFM)*, Simpósio AIDS e Bioética -1993, Brasília, v. 1, n. 1, p. 7 – 11, 1993.

TABEBORDBAR, M.; ZHU, K.; CHENG, J.K.; et al. In vivo gene editing in dystrophic mouse muscle and muscle stem cells. In *Revista Science*, 351:407–11, 2016.

TUTUNJI, Valdi Lopes. Guerra biológica: uma revisão. In *Revista Universitas Ciências da Saúde*, vol. 01, n. 01, pp. 105-139, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.5102/ucs.v1i1.500>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

VALLS, Álvaro L. M. Da ética à bioética. Petrópolis: Editora Vozes, 2004.

WANG, R.; LA RUSSA, M.; QI, L.S. CRISPR/Cas9 in Genome Editing and Beyond. In *The Annual Review of Biochemistry*, 85:22.1–22.38, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-060815-014607> Acesso em: 10/03/2023.