

**Weliton Augusto Gomes**

Centro Universitário Campos de Andrade (Uniandrade). Curitiba, PR, Brasil.

augustoweliton0@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5222-2738>

Denecir Dutra

Centro Universitário Campos de Andrade (Uniandrade). Curitiba, PR, Brasil.

denecir.dutra@terra.com.br

<https://orcid.org/0000-0002-0995-8085>

Klaus Dieter Sautter

Centro Universitário Campos de Andrade (Uniandrade). Curitiba, PR, Brasil.

klaus.sautter@uniandrade.edu.br

<https://orcid.org/0000-0001-9699-0296>

Bruno Gavinho

Centro Universitário Campos de Andrade (Uniandrade). Curitiba, PR, Brasil.

bruno.gavinho@uniandrade.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-0860-3346>

Reflexões bioéticas sobre a “desextinção” de espécies

Bioethical reflections on “de-extinction” of species

Resumo: Uma ideia sugerida nos últimos anos para conservar a biodiversidade e recuperar ecossistemas é a *desextinção*, que se baseia no uso de abordagens moleculares para trazer organismos extintos e/ou sua função novamente. Três abordagens foram sugeridas para a *desextinção*, são elas reprodução seletiva, clonagem e engenharia genética, todas consideradas problemáticas e sem um benefício concreto. Consequentemente, diversas implicações bioéticas foram apontadas acerca da implementação da *desextinção*. Este artigo teve por objetivo revisar a literatura sobre o assunto a fim de identificar as principais questões bioéticas levantadas por autores. Foram identificadas diversas questões bioéticas, dentre as mais citadas a ausência de ecossistemas originais de espécies extintas, redução da sensibilidade governamental quanto às atuais práticas de conservação e violações do bem-estar dos indivíduos envolvidos. Consideramos que há muitos assuntos a serem debatidos e que os principais fatores limitantes da desextinção são os aspectos evolutivos que ela não devolverá à natureza, levando a gastos desnecessários e diversos riscos envolvidos.

Palavras-chave: Desextinção. Bioética. Clonagem animal. Engenharia genética. Translocação de espécies.

Abstract: An idea suggested in recent years to conserve biodiversity and recover ecosystems is de-extinction, which is based on the use of molecular approaches to bring extinct organisms and/or their function back. Three approaches have been suggested for de-extinction: selective breeding, cloning and genetic engineering, all considered problematic and without a concrete benefit. Consequently, several bioethical implications were highlighted regarding the implementation of de-extinction. This article aimed to review the literature on the subject in order to identify the main bioethical issues raised by authors. Several bioethical issues were identified, among the most cited being the absence of original ecosystems of extinct species, reduced government sensitivity regarding current conservation practices and violations of the well-being of the individuals involved. We consider that there are many issues to be debated and that the main factors limiting de-extinction are the evolutionary aspects that it will not return to nature, leading to unnecessary expenses and several risks involved.

Keywords: De-extinction. Bioethics. Animal cloning. Genetic engineering. Species translocation.

Introdução

Um dos fatores que influenciam a diversidade biológica ao longo do espaço e do tempo é a extinção de espécies (Bellard et al., 2016; Robert et al., 2017; Segar et al., 2020), o qual é um fenômeno natural da biologia e está associado a aspectos como catástrofes, distribuição restrita, endemismo, baixa taxa reprodutiva de uma população, impactos da interferência humana, entre outros (Myers, Davis, 2007; Graipel et al., 2016). Populações que não se adaptam aos fatores modificadores do ambiente acabam vindo à extinção (Todesco et al., 2016).

Indiscutivelmente, a ação humana nos últimos tempos da história da Terra tem sido considerada o principal fator a levar os organismos biológicos a se extinguirem (Bellard et al., 2016; Ceballos et al., 2017). Tanto é que, devido às altas pressões antrópicas exercidas sobre a natureza, diversos pesquisadores têm discutido a definição de um novo período geológico do planeta, o Antropoceno (Otto, 2018; Turvey, Crees, 2019; Pyron, Pennell, 2022), onde a espécie humana tem deixado sua marca sobre os ecossistemas globais e levado muitas populações a sumirem repentinamente, evento que está sendo chamado de sexta extinção em massa (Erwin, 1998; Elewa, 2008; Kolbert, 2015; Ceballos et al., 2017; Cowie et al., 2022).

De acordo com Ceballos e cols. (2017), esse novo fenômeno de escala global de desaparecimento de organismos, diferentemente dos outros cinco anteriores (extinções do Ordoviciano, Devoniano, Permiano, Triássico e Cretáceo Superior), apresenta dois aspectos particulares: (1) o desaparecimento de populações que desempenham importantes funções nos ecossistemas, e (2) a rápida diminuição do número de indivíduos dentro de uma população.

Nos últimos anos, uma possível solução tem sido apontada como uma esperança futura de reversão desse viés global. A *desextinção*, processo que envolve o uso de técnicas moleculares para, talvez, recriar espécies extintas no tempo, chamou a atenção da comunidade científica e do público em geral (Cohen, 2014; Donlan, 2014; Jones, 2014; Banks, Hochuli, 2017; Thiele, 2020).

Obviamente, a tentativa de implementação científica ao que é considerado puramente ficção levanta diversas questões bioéticas a serem discutidas, pois, conforme esclarecem Friese e Marris (2014), esse é um assunto que extrapola os campos da ciência e abrange graus variados, como a imprensa popular, a bioética animal e as

políticas de conservação de espécies. Há cada ano que passa, essas discussões estão sendo intensificadas na mídia (Fletcher, 2020; Wrigley, 2021), especialmente porque problemas recorrentes da clonagem animal e desconfiança com as tecnologias de manipulação genética entram na pauta (Sherkow, Greely, 2013).

Nesta ordem de ideias, os objetivos desta pesquisa foram identificar as implicações bioéticas relacionadas das com ideias de desextinção e os benefícios que têm sido especulados, identificar as objeções relacionadas às técnicas moleculares associadas e prover uma argumentação sobre os aspectos bioéticos do processo sob o ponto de vista técnico, ambiental e social.

Métodos

A pesquisa teve um caráter exploratório e qualitativo, voltada a uma contextualização de cunho narrativo sobre os aspetos bioéticos da *desextinção*, sendo realizada uma busca em bancos de dados de artigos técnicos-científicos inerentes ao Scielo, Science Direct, PubMed e outros símiles. A sua finalidade foi abordar os novos conhecimentos a respeito das tecnologias de clonagem e engenharia genética para a *desextinção* de espécies, assim como as considerações éticas atreladas ao processo e os benefícios esperados.

As palavras-chaves utilizadas na busca foram: *desextinção*, técnicas moleculares associadas, ética da desextinção, aspectos éticos da clonagem, transferência nuclear de células somáticas, considerações bioéticas da engenharia genética, reintrodução de espécies, entre outras relacionadas.

A partir das palavras-chaves mencionadas, foram identificadas as abordagens moleculares atualmente em voga para projetos de *desextinção*, assim como as objeções que foram levantadas por pesquisadores de diferentes áreas. Em seguida, foi feito um levantamento qualitativo das considerações bioéticas apontadas em cada artigo, assim como os benefícios especulados para a *desextinção*.

A popularização da *desextinção*

O cerne da ideia de aplicar técnicas moleculares para a *desextinção* de espécies foi inserido pela primeira vez nas obras de ficção Jurassic Park e O Mundo Perdido, escritas por Michael Crichton na década de 90 (Jørgensen, 2013; Whittle et al., 2015). Com os adventos de tecnologias de clonagem animal e da engenharia genética, o que

antes era considerado irreal e impossível de acontecer passou a virar uma hipótese dentro dos meios acadêmicos (Novak, 2018).

Empresas que contam com tecnologias avançadas têm alimentado diferentes ideias de *desextinção*. A princípio, acreditam ser impossível recriar dinossauros como nas obras de Crichton (Brisman, South, 2020), já que os mesmos foram extintos há cerca de 65 milhões de anos (Brusatte, 2019), mas creem serem capazes de aplicar técnicas modernas de alta resolução para trazer de volta animais e plantas que tenham se extinguido em um período mais curto de tempo, como os golfinhos-do-rio-Yangtze (Jones, 2014; Martinelli et al., 2014), pombos-passageiros (Sherkow, Greely, 2013; Seddon et al., 2014; Novak, 2018), mamutes-lanosos (Delord, 2007; Jones, 2014; Novak, 2018) e castanheiras-americanas (Dorado et al., 2019; Abeli et al., 2020).

O assunto se intensificou no início do século 21 graças a um grupo de cientistas espanhóis que, após a morte em 1997 do último representante da subespécie de bucardo espanhol (*Capra pyrenaica pyrenaica*), deram início em 2000 ao antigo projeto de clonar o animal (ver Montoya et al., 1997). Antes mesmo da espécie tornar-se oficialmente extinta, eles já haviam coletado e armazenado amostras da derme do animal e, após a sua extinção, deram início ao processo de clonagem através da introdução de núcleos do bucardo extinto em óvulos férteis de cabras-montesas (*C. pyrenaica*), um método conhecido como transferência nuclear de células somáticas (TNCS). Após aproximadamente quinhentas tentativas, sete cabras emprenharam e só uma delas gerou um descendente, o qual acabou vivendo por cerca de dez minutos, já que nasceu com sérias anormalidades cardiorrespiratórias (Folch et al., 2009). Para Church e Regis, ainda que essa tentativa de *desextinção* tenha sido falha, ela marcou um ponto de virada na história, visto que “naquela data, de uma só vez, a extinção não era mais para sempre” (Church, Regis, 2014, p. 136).

O caso do bucardo-espanhol levou interessados na ideia, entre eles cientistas e líderes governamentais, a consolidar seus projetos de forma conjunta. Uma conferência TEDx aconteceu no mês de março de 2013 na cidade de Washington e teve todas as palestras transmitidas ao vivo (Jørgensen, 2013). Foi esse evento, em paralelo com uma matéria publicada pela National Geographic (Adams, 2017), que popularizou a *desextinção* na mídia (Jørgensen, 2013; Donlan, 2014; Novak, 2018). Subsequentemente, diversos cientistas e filósofos começaram a levantar diversas questões bioéticas relacionadas ao assunto (por exemplo, Jørgensen, 2013; Sherkow, Greely, 2013; Jones, 2014; Cohen, 2014; Camacho, 2014).

Caminhos propostos para a *desextinção*

No evento TEDx de 2013, uns dos assuntos discutidos foram quais seriam as melhores maneiras de realizar a *desextinção* (Siipi, Finkelman, 2017; Novak, 2018). Foram, então, propostas três possíveis abordagens para tornar a extinção de espécies reversível. São elas a reprodução seletiva, engenharia genética e clonagem via TNCS (Cohen, 2014; Novak, 2018; Thiele, 2020; Schlebusch, 2022).

Na primeira abordagem, pensa-se que é possível realizar o cruzamento seletivo entre espécies fenotipicamente relacionadas a fim de gerar descendentes cada vez mais parecidos com a espécie extinta (Gamborg, 2014). Este é o caso do Projeto Taurus na Europa, iniciado em 2008, onde está sendo realizado o cruzamento de raças de gados domésticos que possuam as devidas variações genéticas do extinto ancestral comum, o auroque (*Bos primogenius*) (Fletcher, 2010; Upadhyay et al., 2017; Mason, 2017). Da mesma forma, a reprodução selecionada de variantes de zebras na África (Projeto Quagga) busca “desextinguir” o quagga (*Equus q. quaga*) (Harley et al., 2009; Carlin et al., 2013; Cohen, 2014).

Logo, no processo da reprodução seletiva, indivíduos genotipicamente próximos à espécie extinta são selecionados e criados com a finalidade de cruzarem entre si, gerando descendentes que sejam similares ao fenótipo do passado (Seddon, King, 2019). Em um longo prazo, espera-se que essa população seja capaz de se reproduzir sozinha e se tornar autossustentável no ecossistema (Gamborg, 2014). Durante o procedimento, inserções gênicas e técnicas genômicas direcionadas podem ser aplicadas, até que uma descendência possa lembrar tanto quanto possível o ser que entrou em extinção (Bennett et al., 2017; Shapiro, 2017; Seddon, King, 2019).

Já na segunda proposta, a *desextinção* se baseia no uso de tecnologias de clonagem animal. A maneira de realiza-la é através da TNCS, onde o núcleo de uma célula conservada da espécie extinta, junto com seu conteúdo genético, é introduzido em um óvulo enucleado de uma espécie viva relacionada que servirá como “barri-ga-de-aluguel” (Ogura et al., 2013; Gamborg, 2014; Pereira et al., 2019). O óvulo é então induzido à replicação até que possa se inserir no útero da fêmea e dar início à gestação. Sendo assim, caso haja sucesso, espera-se que o descendente possua características da espécie extinta (Siipi, Finkelman, 2017).

Projetos de *desextinção* via clonagem por TNCS estão sendo tentados, como a ideia de clonar novamente um bucardo-espanhol e o Projeto Lazarus na Austrália, que visa criar uma duplicata da rã-gástrica-incubadora (*Rheobatrachus sp.*) extinta desde 1983 (Carlin et al., 2013; Cohen, 2014; Martinelli et al., 2014).

A última abordagem considerada viável no evento TEDx é o uso de modernas técnicas de engenharia genética, isto é, quando não houver a disponibilidade de núcleos celulares bem preservados das espécies extintas, mas existam longos fragmentos de DNA conservados, esses procedimentos poderão ser usados (Cohen, 2014; Richmond et al., 2016; Banks, Hochuli, 2017; Novak, 2018). Nesse caso, é possível executar o sequenciamento genômico e depois edições gênicas, unindo o material genético extinto com o genoma de uma espécie viva atualmente que seja intimamente relacionada (Richmond et al., 2016).

Nesse caso, equipes russas e coreanas estimam que, usando os dados genéticos recuperados de exemplares de mamutes-lanosos (*Mammuthus primigenius*), poderão gerar um descendente híbrido entre mamutes e elefantes-asiáticos (*Elephas maximus*), projeto conhecido como Mamute 2.0 (Shapiro, 2015; Palkopoulou et al., 2015). Ao mesmo tempo, uma equipe norte-americana prevê conseguir gerar uma população semelhante com a dos extintos pombos-passageiros (*Ectopistes migratorius*), levados à extinção em 1914 por ação da caça humana (Blockstein, 2017). Para isso, farão inserções de fragmentos de DNA de pombo-passageiro em gerações de pombos-de-coleira-branca (*Patagioenas fasciata*) até que uma descendência possa replicar a ave extinta (Hung et al., 2014; Minter, 2014; Blockstein, 2017).

Problemas relacionados aos caminhos propostos

As três abordagens propostas no evento TEDx de 2013 sob a temática da *desextinção* apresentam sérios problemas, os quais podem até inviabilizar o processo. Sobre o cruzamento seletivo, ainda que haja rigoroso controle e sejam escolhidos para o procedimento indivíduos que contenham estreita similaridade genética com a espécie extinta, não há garantia nenhuma de que surja, após muitas reproduções, um organismo idêntico ao que viveu no passado. Na verdade, corre-se mais o risco de se obter o contrário ao desejado e acabar criando espécies com genomas completamente novos e desconhecidos (Delord, 2007; Adams, 2017). Além de que, há o perigo de haver perda de heterozigosidade no meio do caminho devido às elevadas taxas de endogamia (Todesco et al., 2016).

Em relação à clonagem por TNCS, as objeções são largamente discutidas em publicações científicas. Comentando sobre o seu uso com o intuito de *desextinção*, Sherkow e Greely (2013) elencam dois problemas principais: não é um método seguro e eficiente e só dará certo se houver núcleos celulares viáveis disponíveis. Portanto, infere-se que tal técnica só funcionará com espécies que se extinguíram bem recentemente, como o golfinho-do-rio-Yangtze e o bucardo espanhol (Novak, 2018).

Talvez a principal objeção em torno da TNCS seja o fato de que dificilmente, através dela, obtém-se histocompatibilidade quando são utilizados núcleos celulares de espécies diferentes, ainda que a ela pertença ao mesmo gênero da que servirá de hospedeira (Amills et al., 2004; Folch et al., 2009; Pina-Aguillar et al., 2009; Loi et al., 2011; Sherkow, Greely, 2013; Gouveia et al., 2020; Denner, 2022).

Segundo Desalle e Amatto (2017) é preciso valer-se dos exemplos existentes de animais que já foram clonados. Nessa linha de pensamento, a clonagem só foi viável para alguns indivíduos e majoritariamente ela causou neles anomalias epigenéticas, anormalidades placentárias, dificuldades na hora do parto e uma falha geral na taxa de viabilidade dos descendentes. Chavatte-Palmer e cols. (2012), por exemplo, demonstraram que os embriões clonados de mamíferos, se sobreviverem após o trigésimo dia de gravidez, têm o desenvolvimento do alantoide prejudicado e a má vascularização desse anexo placentário parece ser a principal causa da mortalidade. Após noventa dias de gestação, existe uma alta probabilidade de o embrião sofrer um grave aumento da massa placentária normal (ocasionado pelo aumento desproporcional de líquido alantóico). Estas anormalidades podem induzir outras lesões no feto, como aumento do cordão umbilical, ascite (excesso de líquidos na cavidade abdominal), dificuldades renais, expansão do miocárdio e esteatose hepática.

Já Smith et al. (2012) revelaram que mesmo que o método da TNCS já tenha sido utilizado para clonar diversos grupos de mamíferos, a porcentagem de óvulos férteis que se desenvolvem para filhotes normais e saudáveis está abaixo de 1%. O caso da cabra-montesa, uma tentativa de *desextinção*, destaca muito bem isso, já que de quinhentos testes apenas um prevaleceu com dificuldades respiratórias agudas (Folch et al., 2009; Friese, Marris, 2014; Gamborg, 2014). Eles também destacam que as principais causas dessa baixa eficiência está na placentomegalia e complicações neonatais originárias de uma lesão anormal do útero. Em seus testes, eles observaram diversos casos de aborto, uma gestação de período anormal e síndrome da grande prole (LOS, sigla em inglês) (Gamborg, 2014). Um problema adicional é o fato

de que as anomalias são mais severas e frequentes em clones que são produzidos a partir de células de indivíduos adultos (Smith et al., 2012). Possivelmente, há poucas amostras de tecidos embrionários para espécies extintas.

Além disso, a clonagem por TNCS não traria exatamente a mesma espécie que viveu no passado. Mesmo que, suponha, um dos projetos funcione e uma empresa consiga “desextinguir” um indivíduo dessa forma, ele terá diferenças pontuais em seu DNA mitocondrial, células imunológicas, comportamentos, adaptabilidade e microbioma (Lowe, 2014; Wood et al., 2017). Logo, nem ele nem seus descendentes seriam a mesma espécie extinta, no máximo seriam um símile. Portanto, a clonagem por TNCS, embora tecnicamente possível, não se mostra viável de ser utilizada nas ideias de *desextinção*.

No que se refere ao uso da engenharia genética para a *desextinção*, Siipi e Finkelman (2017) argumentaram que, ainda que o processo tenha similaridade com a clonagem por TNCS, ou seja, a espécie “desextinta” também seria produzida a partir de embriões inseridos na fêmea, eles se diferenciam porque as técnicas genômicas envolvem a modificação do genoma do embrião para que este se assemelhe geneticamente à espécie extinta.

Muitos estudos, avaliando o contexto todo, desde a produção até o futuro da espécie recriada, apresentam discordâncias em relação à aplicação da engenharia genética para tal objetivo. É o caso do artigo de Todesco e cols. (2016), onde eles afirmam que dois mecanismos da hibridização animal mediada por humanos fazem dessa técnica um potencial fator de extinção. O primeiro é uma consequência potencial, onde há a enorme probabilidade de a aptidão da espécie híbrida formada ser menor que a dos seus indivíduos parentais. Ao reproduzirem entre si (híbridos formados e parentais atuais), as taxas de crescimento das populações das duas linhagens podem ser reduzidas abaixo das taxas de reposição, levando-as à extinção subsequente. Depois, também apontam que a troca de alelos entre as populações puras e híbridas pode causar a extinção de genomas parentais puros, mesmo que não necessariamente extinguindo as características fenotípicas.

Quilodrán et al. (2018) têm a mesma concepção de Todesco e cols. Para eles, mesmo que tenha acontecido casos de coexistência de espécies parentais e híbridas na natureza, o equilíbrio entre ambas as linhagens está vulnerável à variação ambiental, potencializando o risco de extinção. E, ainda que a espécie híbrida possa ser mais

vigorosa e resistente, evidências práticas mostraram nos últimos anos que geralmente esses seres apresentam baixas taxas de fertilidade, devido ao alto acúmulo de anomalias cromossômicas durante a divisão meiótica (Zong, Fan, 1989; Tumennasan et al., 1997; Barasc et al., 2014; Yadav et al., 2019; Niayale et al., 2021).

Outro sério problema com uso dessas abordagens em uma tentativa de *desextinção* é que todas elas levam à geração de apenas um indivíduo ou, no máximo, poucos indivíduos (Saulsberry, 2015). Iniciar o processo de adaptação de uma nova espécie à natureza requer um alto número de organismos, pois, quanto mais volumosa a população fundadora, certamente menores serão os riscos associados à baixa vulnerabilidade genética (Richmond et al., 2016; Robert et al., 2017; Bennett et al., 2017; Steeves et al., 2017; Thiele, 2020).

De acordo com Steeves et al. (2017) e Seddon (2017), toda a sequência dos procedimentos levará a uma série de gargalos genéticos que levantam um novo risco de extinção, os quais são gargalos pré-*desextinção* que limitam a variedade do material genético disponível para as abordagens moleculares, gargalos de cativeiro nos estágios de pré-lançamento e gargalos de translocação que surgem porque nem todos os fundadores sobreviverão para contribuir com as gerações futuras.

Depois de todos esses problemas apresentados, até o termo *desextinção* pode ser questionado, visto que nenhuma das abordagens propostas de fato trará a espécie extinta de volta. Uma espécie muito semelhante à extinta pode ser criada, obviamente, mas ainda assim, ela não será a mesma (Browning, 2018). Um exemplo prático dessa perspectiva é a do gado Heck, bovinos que foram retrocruzados largamente no século XX na tentativa de se produzir um novo tipo de auroque, mas até o momento, só surgiram descendentes resistentes e fortes que pouco se assemelham ao ancestral (Gamborg, 2014; Richmond et al., 2016).

Nem mesmo nas ficções de Crichton, os dinossauros recriados eram os mesmos répteis pré-históricos da Era Mesozoica; eles eram simplesmente produtos de engenharia genética e inserções combinadas de DNA de várias outras espécies. Lowe (2014) faz uma analogia interessante que se aplica nesse caso: uma pessoa acaba de vislumbrar uma cópia da Mona Lisa, pintada com o mesmo tipo de tinta e contendo traços bastantes parecidos com a obra de Da Vinci; poderia ela dizer que viu a Mona Lisa original?

Questões bioéticas sobre a desextinção

Todos os problemas atrelados às abordagens sugeridas para a *desextinção* desencadearam uma onda de reflexões bioéticas no meio acadêmico. Essas questões, abordadas por Cohen (2014) em seu trabalho foram divididas em cinco dimensões: a dimensão axiológica, a qual aborda os valores ecológicos da *desextinção*; a deontológica, que tem o objetivo de saber se é correto desextinguir espécies que o ser humano extinguiu; a questão ético-existencial, também conhecida como “brincar de Deus”; a perspectiva utilitarista, onde a natureza é vista como um objeto de uso humano; e, por fim, as considerações estéticas atreladas. Aqui optou-se por dividir as implicações encontradas na busca sob a mesma classificação.

Dimensão axiológica – riscos ecológicos

De uma perspectiva axiológica, onde busca-se elencar os riscos ecológicos de um certo procedimento tecno-científico, os principais argumentos contra a implantação da *desextinção* se baseiam na ausência de ecossistemas atuais que se assemelhem aos das espécies extintas (Carlin et al., 2013; Jørgensen, 2013; Richmond et al., 2016; Robert et al., 2017; Bennett et al., 2017; Valdez et al., 2019; Brisman, South, 2020), a possibilidade de causar um desequilíbrio ecológico e evolutivo nos ecossistemas modernos com a introdução de uma nova espécie (Sherkow, Greely, 2013; Richmond et al., 2016; Peers et al., 2016; Wood et al., 2017; Browning, 2018; Rohwer, Marris, 2018) e a existência de novos potenciais fatores de extinção antropogênicos que podem causar uma nova extinção para as espécies (Robert et al., 2017; Bennett et al., 2017; Adams, 2017; Wood et al., 2017; Seddon, 2017a; Feye et al., 2018; Babcock, 2019).

Por exemplo, no caso do pombo-passageiro (*E. migratorius*) extinto há mais de 200 anos ser “desextinguido”, ele se deparará com um ambiente completamente novo ao que tinha disponível quando vivo, isto é, um habitat composto de florestas degradadas e com a expansão urbana acentuada (Blockstein, 2017). Possivelmente, se reintroduzido, poderá assumir um comportamento parecido com o que se observa atualmente em espécies invasoras como o estorninho (Sherkow, Greely, 2013).

Ao se devolver uma espécie para o ambiente, extinguida por um período de tempo substancial, seus recursos alimentares podem ter se esgotado, as mudanças climáticas podem ter reduzido a capacidade trófica de seu habitat original, ela pode se deparar com novos predadores, novas doenças e novos parasitas (Carlin et al.,

2013), todos fatores considerados de alto risco para qualquer espécie viva atualmente. Genovesi e Simberloff (2020) têm a mesma perspectiva sobre essa prática e se baseiam nos dados disponíveis acerca da introdução de espécies não-nativas em outro habitat para argumentar que essa atividade geralmente afeta espécies, comunidades ou mesmo ecossistemas por intermédio de competição, predação, hibridização, propagação de doenças, alterações hidrológicas, regimes de incêndio, entre outros sérios agravamentos. Um exemplo citado por eles foi a tentativa de reintroduzir espécimes selvagens de gramíneas *Bromus interruptus* no Reino Unido. Em vinte anos, as espécies passaram por diversos contratemplos e falhas, envolvendo redução da competitividade, períodos de dormência limitados, baixa dispersão, suscetibilidade a herbicidas e inadequação às práticas agrícolas (Rumsey, Stroh, 2020). Essa experiência destacou a necessidade de monitoramento estendido e provisão de recursos em prazos longos nesse tipo de situação.

Um outro exemplo de uma introdução malsucedida é a do lagarto-teiú (*Salvator merianae*) no arquipélago de Fernando de Noronha durante a segunda metade do século XX (Genovesi, Simberloff, 2020). As pessoas os levaram para lá com a intenção de reduzir o número das populações de roedores, porém, os lagartos começaram a preda espécies endêmicas da região, fazendo com que todo esforço humano fosse imprudente (Abrahão, 2019).

Valendo-se de exemplos como esses, Camacho (2014) e Babcock (2019) concluem que os riscos de se devolver espécies extintas para o ambiente natural é impreterivelmente maior e desconhecido, pois qualquer reintrodução pode provocar uma perturbação nas interações ecológicas de uma comunidade e, em vez de causar um aumento de biodiversidade, pode reduzi-la significativamente. Sendo assim, se a espécie desextinta superar seus fenótipos relacionados, pode causar a extinção dos membros inalterados da espécie (Todesco et al., 2016; Quilodrán, Currat, 2018; Babcock, 2019).

Ainda que observações sejam feitas desde a sua criação até a liberação na natureza, as informações sobre o comportamento da nova espécie serão imprecisas (Carlin et al., 2013). As espécies desextintas poderão gerar um impacto inesperado na cadeia trófica, levando a extensos danos ecológicos não intencionados (Babcock, 2019).

Outro malefício ecológico que a *desextinção* pode ocasionar é o surgimento de potenciais vetores de doenças (Cohen, 2014; Seddon et al., 2014; Wood et al., 2017;

Seddon, 2017a; Browning, 2018; Feye et al., 2018; Valdez et al., 2019; Babcock, 2019). Como mencionado por Sherkow e Greely (2013), o genoma de um animal extinto pode ser um ancoradouro para retrovírus endógenos prejudiciais, além de que atualmente existem diversos patógenos novos que não existiam quando, por exemplo, o tilacino (*Thylacinus cynocephalus*) ou o mamutelanoso (*M. primigenius*), sérios candidatos ao processo, habitavam a superfície terrestre (Selbach et al., 2018).

Como as populações das espécies “desextinguidas” serão pequenas, a concentração dessas espécies estará limitada em seus primeiros anos de lançamento a pequenas áreas geográficas. Isso, de acordo com Okuno (2016), pode ser um fator que tornará as espécies vulneráveis a doenças e predadores.

Dimensão deontológica – É correto “desextinguir” uma espécie?

É certo trazer de volta espécies que já estão extintas há anos, décadas e, até mesmo, séculos? A deontologia, ramo da filosofia moral, tem por fundamento o estudo da orientação a respeito do rumo correto das escolhas humanas (Segre, 1995). Para Cohen (2014), é o campo que ajudará os cientistas da *desextinção* a direcionar os seus próximos passos.

Um dos argumentos a favor da *desextinção*, evocado por diversos autores (Sherkow, Greely, 2013; Cohen, 2014; Sandler, 2014; Richmond et al., 2016; Seddon, 2017a; Adams, 2017; Browning, 2018; Rohwer, Marris, 2018; Valdez et al., 2019; Babcock, 2019; Lean, 2020; Brisman, South, 2020), é que, como a espécie humana foi responsável pela extinção de diversas outras espécies ao longo da história, ela seria detentora de um dever moral em trazer essas criaturas novamente. Em outras palavras, teria o ser humano uma dívida a pagar, uma responsabilidade ética em corrigir erros passados.

Todavia, esse argumento é carregado de preocupações por parte de alguns conservacionistas, que entendem que ele não pensa no bem-estar do indivíduo extinto e dos participantes no processo de *desextinção* (Browning, 2018; Valdez, 2019) nem no tratamento altamente custoso que essas novas espécies precisarão receber depois de serem desextintas (Friese, Marris, 2014). Violações com o bem-estar dos indivíduos envolvidos foram largamente considerados (Sherkow, Greely, 2013; Jørgensen, 2013; Cohen, 2014; Friese, Marris, 2014; Banks, Hochuli, 2017; Rohwer,

Marris, 2018; Valdez et al., 2019; Babcock, 2019), assim como o alto custo necessário antes, durante e depois nos procedimentos foi igualmente reprimido (Saulsberry, 2015; Richmond et al., 2016; Seddon, 2017a; Dooren, Rose, 2017; Adams, 2017; Iacona et al., 2017; Sandler, 2017; Seddon, 2017b; Browning, 2018; Babcock, 2019).

Outra preocupação envolve diretamente os programas de conservação, já que as espécies “desextintas”, segundo a União Internacional de Conservação da Natureza (IUCN), serão classificadas dentro da Lista Vermelha (IUCN, 2017) e, com isso, legalmente terão acesso aos benefícios que os financiamentos governamentais concedem a esses projetos (Jørgensen, 2013; Sherkow, Greely, 2013; Iacona et al., 2017). Sendo assim, vários pesquisadores estão temerosos que esse financiamento abandone estratégias testadas e comprovadas de preservação a espécies vivas atualmente, para se agarrar em tecnologias de *desextinção* incertas que ainda estão em estágios de pesquisa teórica (Friese, Marris, 2014; Jones, 2014; Seddon, 2017a; Novak, 2018). Um ponto que deve ser considerado antes da discussão é se é ou não um dever da humanidade “desextinguir” uma espécie. A reflexão a se fazer é: é certo investir em projetos tão caros que podem facilmente fracassar? Isso é prudente?

Uma pergunta retórica feita por Sherkow e Greely (2013) sobre o tema é deveras interessante: “Temos o poder de revivê-los. Mas devemos?”. Definir isso envolve, antes de tudo, encontrar respostas a alguns enigmas: essas espécies são entidades que logicamente são detentoras de direitos? Se são, elas têm de fato esse direito de serem “desextinguidas”? Quem definirá isso? Essas são questões que permanecem não respondidas.

A questão ético-existencial

Alguns cientistas e público em geral consideram a prática da *desextinção* absurda, indiscutível e semelhante a “brincar de Deus” (Gamborg, 2014; Saulsberry, 2015; Greely, 2017; Mason, 2017; Browning, 2018; Valdez et al., 2019; Babcock, 2019; Brisman, South, 2020). A conotação “brincar de Deus”, tecnicamente questão ético-existencial, é sempre usada pelo público em relação a discussões sobre aborto, aprimoramento genético, interferências no processo evolutivo e adulteração de qualquer ordem natural de forma radical que envolva uso de engenharia genética e clonagem (Sanches, 2008; Valdez et al., 2019). Basicamente, é a ideia da existência de um limite pelo qual a humanidade jamais deve ultrapassar nos avanços científicos (Mizrahi, 2020).

De acordo com defensores de tal proposição, a *desextinção* estaria invertendo o papel natural da seleção das espécies, além de que o conhecimento das consequências atreladas não é suficiente para a prática ser executada (Sherkow, Greely, 2013). Um exemplo foi o argumento apresentado por Funk e Heferson (2018, p. 1): “A natureza selecionou espécies para serem extintas ao longo de milhões e milhões de anos. Nós não temos o direito de trazer animais de volta e brincar de Deus”. Essas discussões que giram em torno dos cientistas estarem “brincando de Deus” se atenuaram depois que se considerou usar a engenharia genética para auxiliar as populações “desextinguidas” a se adaptarem às mudanças climáticas e demais fatores de extinção (Banks, Hochuli, 2017; Robert et al., 2017); isso, para os opositores, seria reverter a seleção natural (Donlan, 2014).

As questões envolvidas dentro dessa perspectiva estão longe de se resolverem (Mizrahi, 2020). Por isso que muitos autores afirmam que uma questão a ser investigada é como será a aceitação pública de projetos de desextinção (Fletcher, 2008; Donlan, 2014; Ogden, 2014; Seddon et al., 2014; Whittle et al., 2015; Davis, Moran, 2016; Dooren, Rose, 2017; Seddon, 2017b), embora nenhuma investigação desse gênero tenha sido feita até o momento.

Friese e Marris (2014) definem algumas questões que devem direcionar esse debate: Que tipo de natureza a *desextinção* procura criar? Quais interesses humanos são atendidos ao criar esse tipo de natureza? Quais não são atendidos? Talvez através desse direcionamento seja possível chegar a uma conclusão.

Perspectiva utilitarista

A dimensão utilitarista da *desextinção* discute aspectos que envolvem o bem-estar envolvido no processo e vale-se dos exemplos de animais que já foram clonados, que em sua maioria morreram de maneira dolorosa após o nascimento devido a defeitos fisiológicos associados às técnicas de TNCS (Desalle, Amatto, 2017).

O primeiro e único animal “desextinto”, por assim dizer, através da clonagem por TNCS, o bucardo, nasceu com dificuldade respiratória aguda e viveu por apenas oito minutos tendo uma morte bastante dolorosa (Pina-Aguillar, 2009; Friese, Marris, 2014). As dificuldades já registradas com outros indivíduos clonados também apresentaram anomalias placentárias, complicações severas na hora do parto, inviabilidade dos descendentes sobreviverem naturalmente, morte precoce dos filhotes gerados e altos níveis de deformidade (Chavatte-Palmer, 2012; Desalle, Amatto, 2017).

Trecelin e Zappa (2013), em sua revisão de literatura das principais anomalias correlacionadas, identificaram cardiopatias, deficiências renais, disfunções pulmonares e placentomegalia, além de atestarem os altos índices de mortalidade embrionária nos estágios inicial e final da gestação. Também relataram que os principais problemas respiratórios identificados em clones animais se resumem à insuficiência na produção de surfactantes pulmonares importantes na redução da tensão superficial dos alvéolos e pneumonias nos brônquios.

Em dados anteriores, a eficiência na TNCS está entre 1 e 10% (Malakar et al., 2016) e a porcentagem de óvulos de mamíferos que se tornam férteis no processo é menor que 1% (Smith et al., 2012). Para Sherkow e Greely (2013), este método só poderá ser aplicado em espécies que entraram em extinção recentemente.

Fazendo uma análise evolutiva da *desextinção*, Robert et al. (2017) relataram que os indivíduos revividos não terão a mesma composição epigenética, ambiental e até cultural de seus fenótipos extintos. E, como dito por Richmond e cols. (2016) e Davis e Moran (2016), não há qualquer possibilidade de comportamentos que evoluíram ao longo de muito tempo pela espécie, como técnicas predatórias, rotas de migração e métodos de comunicação, serem resgatados pelas práticas de *desextinção*.

Isso pode trazer um efeito dramático para a sobrevivência de espécies já que esse tipo de herança genética talvez não envolva transmissão de anticorpos ou cuidados comportamentais essenciais (Robert et al., 2017). Considerando que provavelmente o número de indivíduos de uma população desextinta será pequeno (principalmente se forem produzidas por clonagem ou engenharia genética), elas sofrerão de uma baixa diversidade genética, o que pode ser um agravante na resiliência evolutiva dela no ambiente natural, isto é, uma baixa capacidade da população permanecer em seu estado atual em resposta às mudanças nas condições ambientais, além de problemas com endogamia e defeitos mutagênicos acumulados (Richmond et al., 2016; Davis, Moran, 2016; Seddon, 2017a; Robert et al., 2017; Shapiro, 2017; Banks, Hochuli, 2017; Steeves et al., 2017; Feye et al., 2018; Babcock, 2019; Brisman, South, 2020; Genovesi, Simberloff, 2020).

Considerações puramente estéticas

Algumas considerações mencionadas por alguns autores são puramente estéticas. Em outras palavras, seria simplesmente “emocionante” trazer espécies extintas de volta (Minteer, 2015; Adams, 2017; Greely, 2017; Browning, 2018; Rohwer, Marris, 2018; Babcock, 2019) e que elas que poderão fornecer excelentes benefícios turísticos e comerciais

para a humanidade (Kumar, 2012; Cotrell et al., 2014; Whittle et al., 2015; Oksanen, Vuorisalo, 2017; Iacona et al., 2017; Lean, 2020).

Mesmo que um Jurassic Park com dinossauros recriados seja inviável de ocorrer, um parque temático com espécies do Pleistoceno, como tigres-dente-de-sabre e mamutes, também atrairia a fascinação pública e as empresas patrocinadoras da *desextinção* poderiam usá-las para exibição, como em um zoológico, ou mesmo para comércio (Babcock, 2019).

O entretenimento humano foi algumas vezes considerado protagonista indireto dentro dos discursos de apoiadores da *desextinção* (Friese, Marris, 2014). Os argumentos filosóficos contra a prática envolvem a autonomia da natureza, ou seja, a natureza deve ser independente de atividades e interesses humanos e, portanto, não haveria qualquer valor ecológico para a sua realização (Church, 2014; Cohen, 2014). A exploração humana de animais sem objetivos ecológicos necessários é fortemente rejeitada pelo público em geral (Sherkow, Greely, 2013).

Segundo Lindquist (2020), mesmo que os projetos de *desextinção* e liberação dessas espécies na natureza passem pelos critérios morais de permissão hoje discutidos, a falta de consenso para a própria classificação desses seres como uma “espécie” na filosofia da biologia, remove a naturalidade de todo o processo. Isso seria um estopim para empresas e governos usarem as espécies como sendo maravilhas do progresso tecnológico, outra argumentação usada pelos defensores (Cohen, 2014; Gamborg, 2014; Saulsberry, 2015).

Benefícios especulados e contra-argumentos

Obviamente, em decorrência do grande número de objeções levantadas ao longo dos anos sobre a implementação da *desextinção*, foram também especulados benefícios que a prática poderá trazer.

Contrariando os argumentos contra a implementação da *desextinção*, a principal razão para realizá-la seria a hipótese de que ela poderia proporcionar um aumento na biodiversidade global, através da restauração de antigas relações evolutivas entre espécies (Davis, Moran, 2016; McCauley et al., 2017; Novak, 2018; Rohwer, Marris, 2018) e da recuperação de serviços ecossistêmicos perdidos no tempo (Saulsberry, 2015; Okuno, 2016; Peers et al., 2016; Campagna et al., 2017; Kasperbauer, 2017; McCauley et al., 2017; Oksanen, Vuorisalo, 2017; Novak, 2018; Slater, Clatterbuck, 2018;

Selbach et al., 2018; Valdez et al., 2019; Babcock, 2019; Lean, 2020; Brisman, South, 2020; Genovesi, Simberloff, 2020).

Todavia, como apontou Cohen (2014) em seu trabalho, este argumento precisa, antes de mais nada, ultrapassar duas barreiras até então intransponíveis: (1) a *desextinção* estará trazendo muitas espécies novamente apenas para que elas entrem na lista de organismos que sofrerão o inevitável sexto evento de extinção em massa da Terra; e (2) as ações antrópicas estão limitando o pleno desenvolvimento de qualquer espécie atualmente. Uma estimativa aponta que mais de 50% das espécies que estão vivas hoje em dia desaparecerão até a metade do século 21 (Pimm, Raven, 2000).

Ao contrário das espécies criadas em cativeiro, uma espécie confinada a um laboratório ou a algum outro tipo de “instalação de criação” dificilmente se pode dizer que tem um “habitat ou área”, no entanto, se puder ser devolvido à sua natureza original, pode muito bem enfrentar as mesmas ameaças que levaram à sua extinção na primeira vez (Carlin et al., 2013; Donlan, 2014; Jones, 2014; Seddon et al., 2014; Dooren, Rose, 2017; Bennett et al., 2017; Adams, 2017; Kasperbauer, 2017; Iacona et al., 2017; Wood et al., 2017; Feyer et al., 2018; Babcock, 2019).

Sobre a *desextinção* ser especulada como um potencial de restauração ecológica, um exemplo bastante mencionado é o desejo da recuperação dos serviços ecossistêmicos do mamute na estepe ártica (Shapiro, 2015; Liinamaa, 2020). Mas fazendo uma análise mais aprofundada de todos os benefícios ecológicos e evolutivos do processo, Robert et al. (2017) concluíram que mesmo que as duplicatas das espécies extintas sejam criadas e que elas possam restituir os antigos ambientes, serão incapazes de restaurar os fatores ecoevolutivos no caso de ecossistemas há muito tempo perdidos. Eles mencionam que esses fatores “são tão extintos quanto as próprias espécies” (p. 1026). Osborne e Seddon (2012) acreditam que quanto maior o tempo de separação entre a extinção e a possível *desextinção*, maior a chance de um habitat adequado não estar mais disponível. Sendo assim, seria mais viável trazer de volta espécies que foram extintas recentemente do que muito antigamente (Robert et al., 2017).

A *desextinção* também pode servir como um tipo de “seguro de vida” para espécies que atualmente estão ameaçadas de extinção (Desalle, Amato, 2017; Bennett et al., 2017; Seddon, 2017b; Babcock, 2019). Então, a recuperação futura dessas espécies pode ser possível a partir do que ficará de experiência dos esforços empregados para clonar espécies extintas (Camacho, 2014). Para Camacho (2014), a *desextinção* será o

estopim para os cientistas aprenderem a como inserir novos genes nos genomas das espécies em risco a fim de melhorar a sua aptidão frente às ameaças patogênicas e climáticas. Mas muitos autores se opõem a isso, prevendo que as políticas de conservação das espécies ameaçadas serão financeiramente relaxadas com a desculpa de que poderão “ressuscitá-las” em um futuro oportuno (Valdez et al., 2019; Babcock, 2019; Brisman, South, 2020).

Alguns também argumentam que, se a *desextinção* é mesmo um projeto que não é substancial para a atualidade, os governos financiam projetos científicos com pouca relevância prática também, como os robôs de Marte (Sherkow, Greely, 2013). Mas para Sherkow e Greely (2013) esses projetos oferecem menos riscos e objeções.

Ainda, para Sherkow e Greely (2013), Jørgensen (2013), Cohen (2014), Robert et al. (2017), Valdez (2019) e Lindquist (2020) os possíveis benefícios que a *desextinção* pode trazer são muito poucos diante das diversas objeções existentes. Se tais objeções forem mais consideradas e debatidas, futuramente é possível que a aplicação aconteça (Babcock, 2019; Lindquist, 2020), mas exige que as causas originais da extinção sejam removidas e que os habitats sejam ecológica e evolutivamente restituídos.

Aspectos evolutivos (e limitantes) para a *desextinção*

Os aspectos mais limitantes para qualquer ideia de *desextinção*, segundo diversos autores (Richmond et al., 2016; Davis, Moran, 2016; Seddon, 2017a; Robert et al., 2017; Bennett et al., 2017; Greely, 2017; Diehm, 2017; Mason, 2017; Steeves, 2017; Seddon, 2017b), e que não estão sendo considerados pelos proponentes, são as restrições evolutivas que impedem que uma espécie perdida no tempo possa ser recuperada.

Um limite em potencial, para Robert et al. (2017), Steeves (2017) e Wood et al. (2017), é que, como dito anteriormente, o restabelecimento de uma população no ambiente requer um grande número de indivíduos não aparentados, a fim de que eles tenham uma grande diversidade genética e evitem gargalos pró-extinção, desencadeados por cruzamentos endogâmicos e cargas de deriva acumuladas.

Uma estimativa feita em 2017 acredita serem necessários pelo menos 5 mil indivíduos geneticamente diferentes para que a espécie possa experimentar um potencial evolutivo no ambiente (Steeves, 2017), já que uma população fundadora composta por um pequeno número de indivíduos experimentará severos problemas genéticos (Robert et al., 2017). Tendo em vista que nenhuma das abordagens para *desextinção* promete

criar de centenas a milhares de descendentes, pelo menos a priori, leva fatidicamente ao pensamento de que o mais citado benefício especulado (a restauração de ecossistemas através da translocação das espécies “desextintas”) é utópico e inalcançável.

Alguns poderão argumentar que a utilização de edições gênicas com o objetivo de aumentar a diversidade genética pode ser a solução contra esse problema. Mas, ainda que nos últimos anos grandes avanços tenham sido conquistados pela engenharia genômica, e que técnicas de alta resolução possam ser usadas para resgatar frações significativas de variabilidade genética entre as espécies “desextintas”, isso ainda exigiria o uso de, no mínimo, centenas de indivíduos distintos para evitar um gargalo genético (Robert et al., 2017).

Além do mais, fatores de redução de diversidade genética, como a deriva gênica em cativeiro, baixa taxa de sobrevivência e/ou longos tempos de geração, podem ser enfrentados como situações imprevistas e dificultar ainda mais o processo (Steeves, 2017).

Outra considerável limitação é que a recuperação de uma espécie vai muito além de gerar descendentes fenotipicamente semelhantes ao representante extinto. Esses organismos fizeram parte de uma rede intrincada de interações bióticas e abióticas, algumas estabelecidas por milhares de anos, que, ao que parece, são impossíveis de serem resgatadas (Richmond et al., 2016; Davis, Moran, 2016; Seddon, 2017a; Robert et al., 2017; Bennett et al., 2017; Greely, 2017; Diehm, 2017; Mason, 2017; Steeves, 2017; Seddon, 2017b).

O problema em relação a isso é que nenhuma espécie pode prosperar no ambiente se separada de seus padrões de comportamento, dinâmica populacional, relações ecológicas, microbioma e comportamentos sociais (Meine, 2017; Wood et al., 2017; Selbach et al., 2018). Vários desses aspectos foram extintos com a espécie há muito tempo.

Sendo o objetivo final da *desextinção* o estabelecimento de uma população autosustentável em um ambiente saudável e estável, então uma série de fatores biológicos deverão ser contemplados, entre eles uma população fundadora com suficiente variabilidade genética.

Considerações finais

A *desextinção*, como proposta de reverter as atuais ameaças à biodiversidade global, chama a atenção do público e, muitas vezes, é tratada como o novo progresso científico.

Aqui abordamos as três abordagens moleculares levantadas pelos proponentes da ideia, as quais carregam consigo diversas objeções e implicações bioéticas que devem servir para reflexão.

Além de problemas técnicos e violações de bem-estar aos indivíduos envolvidos em técnicas de reprodução seletiva direcionada, clonagem e engenharia genética, nenhuma delas levará à formação da mesma espécie extinta no passado. Isso se deve ao fato de que algumas características não podem ser recuperadas, mesmo através de edições gênicas, entre elas a genética mitocondrial, caracteres imunológicos, comportamentos, adaptabilidade e microbioma.

Devido a essas objeções acerca das técnicas moleculares associadas, muitas implicações bioéticas foram levantadas por autores, sendo as principais o receio que se há de que não existam mais ecossistemas semelhantes aos que viveram as espécies extintas (por exemplo Jørgensen, 2013; Peers et al., 2016; Valdez, 2019) e os problemas legais relacionados ao direito dos animais (como Friese, Marris, 2014; Okuno, 2016; Peers et al., 2016; Adams, 2017; Selbach et al., 2018; Valdez et al., 2019; Babcock, 2019; Lean, 2020) já que para alguns autores trazer essas espécies novamente seria uma nova forma de fazê-los sofrer com os efeitos da ação antrópica e das mudanças ambientais decorrentes. A consideração bioética que mais está longe de chegar a um consenso, certamente, é a ético-existencial, já que muitos autores argumentam que a *desextinção*, como outras práticas de engenharia genética, seria inverter a seleção natural e “brincar de Deus” (Sherkow, Greely, 2013; Funk, Heferson, 2018; Mizrahi, 2020).

Alguns benefícios têm sido especulados, os quais mais citados foram a restauração de ecossistemas perdidos e/ou ameaçados, o cumprimento de um dever moral humano de trazer essas espécies de volta e avanços tecno-científicos. No entanto, todos os benefícios, após avaliados, são reféns da imprevisibilidade. Como afirmou Seddon (2017a, p. 994): “Projetar benefícios não é o mesmo que alcançá-los”.

Consideramos, assim como feito por Robert e cols. (2017), Steeves (2017), Wood et al. (2017), que o principal fator limitante é a baixa variedade genética que essas espécies apresentarão. Nenhuma das técnicas traz a promessa de se “desextingir” um número de indivíduos suficientes para superar essa limitação, o que, de acordo com os autores supracitados, inviabiliza qualquer tentativa de *desextinção* prosseguir. A ausência de fatores eco-evolutivos será fundamental para prejudicar a capacidade de a espécie responder às variações ambientais.

Ao que tudo indica o debate ainda vai durar bastante tempo atrás de uma solução clara, principalmente porque os riscos, em sua maioria, são desconhecidos e difíceis de quantificar. Mesmo assim, os riscos, custos e benefícios devem ser avaliados. Consideramos a *desextinção* uma prática com benefícios inalcançáveis, especialmente diante das sérias objeções que lhe são colocadas, e por isso sua implementação, pelo menos agora, não se justifica.

Referências

1. Abeli T, Dalrymple S, Godefroid S, Mondoni A, Müller JV, Rossi G, Orsenigo S. Ex situ collections and their potential for the restoration of extinct plants. *Conservation Biology* 2020; 34(2): 303-313.
2. Abrahão CR. Estratégias para o manejo do teiú (*Salvator merianae* Duméril & Bibron, 1839), um lagarto invasor no arquipélago de Fernando de Noronha, PE, Brasil (tese). São Paulo: Universidade de São Paulo; 2019.
3. Adams WM. Geographies of conservation I: De-extinction and precision conservation. *Progress in Human Geography* 2017; 41(4): 534-545.
4. Amills M, Jiménez N, Jordana J, Riccardi A, Fernández-Arias A, Guiral J, Bouzat JL, Folch J, Sanchez A. Low diversity in the major histocompatibility complex class II DRB1 gene of the Spanish ibex, *Capra pyrenaica*. *Heredity* 2004; 93(3): 266-272.
5. Babcock HM. The genie is out of the de-extinction bottle. *Virginia Environmental Law Journal* 2019; 37(3): 170-206.
6. Banks PB, Hochuli DF. Extinction, de-extinction and conservation: a dangerous mix of ideas. *Australian Zoologist* 2017; 38(3): 390-394.
7. Barasc H, Ferchaud S, Mary N, Cucchi MA, Lucena, AN, Letron IR, Calgaro A, Bonnet N, Duzdez AM, Yerle M, Ducos, A, Pinton, A. Cytogenetic analysis of somatic and germinal cells from 38, XX/38, XY phenotypically normal boars. *Theriogenology* 2014; 81(2): 368-372.
8. Bellard C, Cassey P, Blackburn TM. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters* 2016; 12(2): 20150623.
9. Bennett JR, Maloney RF, Steeves TE, Brazill-Boast J, Possingham HP, Seddon PJ. Spending limited resources on de-extinction could lead to net biodiversity loss. *Nature Ecology & Evolution* 2017; 1(4): 0053.
10. Blockstein DE. We can't bring back the passenger pigeon: the ethics of deception around de-extinction. *Ethics, Policy & Environment* 2017; 20(1): 33-37.
11. Brisman A, South N. A criminology of extinction: biodiversity, extreme consumption

- and the vanity of species resurrection. *European Journal of Criminology* 2020; 17(6): 918-935.
12. Browning H. Won't somebody please think of the mammoths? De-extinction and animal welfare. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 2018; 31(6): 785-803.
 13. Brusatte S. Ascensão e queda dos dinossauros: uma nova história de um mundo perdido. Rio de Janeiro: Record; 2019.
 14. Camacho AE. Going the way of the dodo: de-extinction, dualisms, and reframing conservation. *Washington UL Review* 2014; 92: 849.
 15. Campagna C, Guevara D, Le Boeuf B. De-scenting extinction: the promise of de-extinction may hasten continuing extinctions. *Hastings Center Report* 2017; 47: S48-S53.
 16. Carlin NF, Wurman I, Zakim T. How to permit your mammoth: some legal implications of de-extinction. *Stan. Env'tl. LJ* 2013; 33: 3.
 17. Ceballos G, Ehrlich PR, Dirzo R. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2017; 114(30): E6089-E6096.
 18. Chavatte-Palmer P, Camous S, Jammes H, Le Cleac'h N, Guillomot M, Lee RSF. Placental perturbations induce the developmental abnormalities often observed in bovine somatic cell nuclear transfer. *Placenta* 2012; 33: S99-S104.
 19. Church GM, Regis E. *Regenesis: how synthetic biology will reinvent nature and ourselves*. Basic Books; 2014.
 20. Cohen S. The ethics of de-extinction. *NanoEthics* 2014; 8(2): 165-178.
 21. Cottrell S, Jensen JL, Peck SL. Resuscitation and resurrection: the ethics of cloning cheetahs, mammoths, and neanderthals. *Life Sciences, Society and Policy* 2014; 10(1): 1-17.
 22. Cowie RH, Bouchet P, Fontaine B. The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation?. *Biological Reviews* 2022; 97(2): 640-663.
 23. Davis CN, Moran MD. An argument supporting de-extinction and a call for field research. *Frontiers of Biogeography* 2016; 8(3).
 24. Delord J. The nature of extinction. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 2007; 38(3): 656-667.
 25. Denner J. Risk of pathogenic virus transmission by somatic cell nuclear transfer: implications for xenotransplantation. *Biology of Reproduction* 2022; 107(3): 717-722.
 26. Desalle R, Amato G. Conservation genetics, precision conservation, and de-extinction. *Hastings Center Report* 2017; 47: S18-S23.
 27. Diehm C. De-extinction and deep questions about species conservation. *Ethics, Poli-*

- cy & Environment 2017; 20(1): 25-28.
28. Donlan J. De-extinction in a crisis discipline. *Frontiers of Biogeography* 2014; 6(1).
 29. Dooren TV, Rose DB. Keeping faith with the dead: mourning and de-extinction. *Australian Zoologist* 2017; 38(3): 375-378.
 30. Dorado G, Luque F, Pascual P, Jiménez I, Sánchez-Cañete FJS, Raya P, Sáiz J, Sánchez A, Rosales TE, Vásquez VF, Hernández P. Bioarchaeology to bring back scents from extinct plants-review. *Archaeobios* 2019; (13): 66-75.
 31. Elewa AMT. Mass extinction. Berlin: Springer; 2008: 1-4.
 32. Erwin DH. The end and the beginning: recoveries from mass extinctions. *Trends in Ecology & Evolution* 1998; 13(9): 344-349.
 33. Feye KM, Smith JS, Sebbag L, Hohman AE, Acharya S. Veterinary considerations for the theoretical resurrection of extinct species. *J Vet Sci Ani Husb* 2018; 6(3): 306.
 34. Fletcher AL. Mendel's ark: Conservation genetics and the future of extinction. *Review of Policy Research* 2008; 25(6): 598-607.
 35. Fletcher A. Genuine fakes: cloning extinct species as science and spectacle. *Politics and the Life Sciences* 2010; 29(1): 48-60.
 36. Fletcher AL. Mammoths, museums, and molecules: a de-extinction icon emerges. *De-Extinction and the Genomics Revolution: Life on Demand* 2020: 45-61.
 37. Folch J, Cocero MJ, Chesné P, Alabart JL, Domínguez V, Cognié Y, Roche A, Fernández-Árias A, Martí JA, Sánchez P, Echegoyen E, Beckers JF, Bonastre AS, Vignon X. First birth of an animal from an extinct subspecies (*Capra pyrenaica pyrenaica*) by cloning. *Theriogenology* 2009; 71(6): 1026-1034.
 38. Friese C, Marris C. Making de-extinction mundane? *PLoS Biology* 2014; 12(3).
 39. Funk C, Hefferon M. Public views of gene editing for babies depend on how it would be used. Washington, DC: Pew Research Center; 2018.
 40. Gamborg C (2014). What's so special about reconstructing a mammoth? Ethics of breeding and biotechnology in re-creating extinct species. In: Oksanen M, Siipi H. *The ethics of animal re-creation and modification: reviving, rewilding, restoring*. London: Palgrave Macmillan UK; 2014: 60-76.
 41. Genovesi P, Simberloff D. "De-extinction" in conservation: assessing risks of releasing "resurrected" species. *Journal for Nature Conservation* 2020; 125838.
 42. Gouveia C, Huyser C, Egli D, Pepper MS. Lessons learned from somatic cell nuclear transfer. *International Journal of Molecular Sciences* 2020; 21(7): 2314.
 43. Graipel ME, Cherem JJ, Bogoni JA, Pires JSR. Características associadas ao risco de extinção nos mamíferos terrestres da Mata Atlântica. *Oecologia Australis* 2016; 20(1).

44. Greely HT. Is de-extinction special?. *Hastings Center Report* 2017; 47: S30-S36.
45. Harley EH, Knight MH, Lardner C, Wooding B, Gregor M. The Quagga project: progress over 20 years of selective breeding. *South African Journal of Wildlife Research* 2019; 39(2): 155-163.
46. Hung CM, Shaner PJL, Zink RM, Liu WC, Chu TC, Huang WS, Li SH. Drastic population fluctuations explain the rapid extinction of the passenger pigeon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2014; 111(29): 10636-10641.
47. Iacona G, Maloney RF, Chades I, Bennett JR, Seddon PJ, Possingham HP. Prioritizing revived species: what are the conservation management implications of de-extinction?. *Functional Ecology* 2017; 31(5): 1041-1048.
48. Jones KE. From dinosaurs to dodos: who could and should we de-extinct?. *Frontiers of Biogeography* 2014; 6(1).
49. Jørgensen D. Reintroduction and de-extinction. *BioScience* 2013; 63(9): 719-720.
50. Kasperbauer TJ. Should we bring back the passenger pigeon? The ethics of de-extinction. *Ethics, Policy & Environment* 2017; 20(1): 1-14.
51. Kolbert E. *A sexta extinção: uma história não natural*. Rio de Janeiro: Intrínseca; 2015.
52. Kumar S. Extinction need not be forever. *Nature* 2012; 492(7427): 9.
53. Lean CH. Why wake the dead? Identity and de-extinction. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 2020; 33(3-6): 571-589.
54. Liinamaa S. Of thesis bringing back to life a mammoth in the real world Jurassic Park. *Public Understanding of Science* 2020; 25(1): 31-44.
55. Lindquist, MA. *Aesthetics at the intersection of the species problem and de-extinction Technology Environmental Values* 2020.
56. Loi P, Wakayama T, Saragustry J, Fulka Jr J, Ptak G. Biological time machines: a realistic approach for cloning an extinct mammal. *Endangered Species Research* 2011; 14(3): 227-233.
57. Lowe M. *Implications of species-as-individuals: kinds, essentialism, induction, de-extinction (tese)*. Connecticut: University of Connecticut Graduate School; 2014.
58. Malakar D, Akshey Y, De A, Dutta R. Somatic cell cloning technique for production of cloned animals and its application—a review. *Indian Journal of Animal Health* 2016; 55(1): 1-20.
59. Martinelli L, Oksanen M, Siipi H. De-extinction: a novel and remarkable case of bio-objectification. *Croatian Medical Journal* 2014; 55(4): 423.
60. Mason C. The unnaturalness objection to de-extinction: a critical evaluation. *Animal Studies Journal* 2017; 6(1): 40-60.
61. McCauley DJ, Hardesty-Moore M, Halpern BS, Young HS. A mammoth undertaking:

- harnessing insight from functional ecology to shape de-extinction priority setting. *Functional Ecology* 2017; 31(5): 1003-1011.
62. Meine C. De-extinction and the community of being. *Hastings Center Report* 2017; 47: S9-S17.
63. Minter B. Is it right to reverse extinction?. *Nature* 2014; 509(7500): 261-261.
64. Minter BA. The perils of de-extinction. *Minding Nature* 2015; 8(1): 11-17.
65. Mizrahi M. How to play the “playing God” card. *Science and Engineering Ethics* 2020; 1-17.
66. Montoya FA, Pera JP, Guiral J. El programa de recuperación del bucardo, la cabra montés de los Pirineos. *Naturaleza Aragonesa* 1997; 1: 51-55.
67. Myers KM, Davis M. Mechanisms of fear extinction. *Molecular Psychiatry* 2007; 12(2): 120-150.
68. Niayale R, Cui Y, Adzitey F. Male hybrid sterility in the cattle-yak and other bovines: A review. *Biology of Reproduction* 2021; 104(3): 495-507.
69. Novak BJ. De-extinction. *Genes* 2018; 9(11): 548.
70. Ogden LE. Extinction is forever... or is it?. *BioScience* 2014; 64(6): 469-475.
71. Ogura A, Inoue K, Wakayama T. Recent advancements in cloning by somatic cell nuclear transfer. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2013; 368(1609): 20110329.
72. Oksanen M, Vuorisalo T. De-extinct species as wildlife. *Journal for Human-Animal Studies* 2017; 3: 4-27.
73. Okuno E. Frankenstein’s Mammoth: anticipating the global legal framework for de-extinction. *Ecology LQ* 2016; 43: 581.
74. Osborne PE, Seddon PJ. Selecting suitable habitats for reintroductions: variation, change and the role of species distribution modelling. *Reintroduction Biology: Integrating Science and Management* 2012; 1.
75. Otto SP. Adaptation, speciation and extinction in the Anthropocene. *Proceedings of the Royal Society B* 2018; 285(1891): 20182047.
76. Palkopoulou E, Mallick S, Skoglund P, Enk J, Rohland N, Li H, Omrak A, Vartanyan S, Poinar H, Götherström A, Dalén L, Reich D. Complete genomes reveal signatures of demographic and genetic declines in the woolly mammoth. *Current Biology* 2015; 25(10): 1395-1400.
77. Peers MJ, Thornton DH, Majchrzak YN, Bastille-Rousseau G, Murray DL. De-extinction potential under climate change: extensive mismatch between historic and future habitat suitability for three candidate birds. *Biological Conservation* 2016; 197: 164-170.

78. Pereira AF, Borges AA, Santos MVO, Lira, GPO. Uso da clonagem por transferência nuclear na conservação e multiplicação de mamíferos silvestres. *Revista Brasileira de Reprodução Animal* 2019; 43(2): 242-247.
79. Pimm SL, Raven P. Extinction by numbers. *Nature* 2000; 403(6772): 843-845.
80. Pina-Aguilar RE, Lopez-Saucedo J, Sheffield R, Ruiz-Galaz LI, Barroso-Padilla JJ, Gutiérrez-Gutiérrez A. Revival of extinct species using nuclear transfer: hope for the mammoth, true for the Pyrenean ibex, but is it time for “conservation cloning”? *Cloning and Stem Cells* 2009; 11(3): 341-346.
81. Pyron RA, Pennell M. Macroevolutionary perspectives on Anthropocene extinction. *Biological Conservation* 2022; 274: 109733.
82. Richmond DJ, Sinding MHS, Gilbert MTP. The potential and pitfalls of de-extinction. *Zoologica Scripta* 2016; 45: 22-36.
83. Robert A, Thévenin C, Princé K, Sarrazin F, Clavel J. De-extinction and evolution. *Functional Ecology* 2017; 31(5): 1021-1031.
84. Rohwer Y, Marris E. An analysis of potential ethical justifications for mammoth de-extinction and a call for empirical research. *Ethics, Policy & Environment* 2018; 21(1): 127-142.
85. Rumsey F, Stroh P. Will de-extinction be forever? Lessons from the re-introductions of *Bromus interruptus* (Hack.) Druce. *Journal for Nature Conservation* 2020; 125835.
86. Quilodrán CS, Currat M, Montoya-Burgos JI. Effect of hybridization with genome exclusion on extinction risk. *Conservation Biology* 2018; 32(5): 1139-1149.
87. Sanches MA. Brincando de Deus: bioética e as marcas sociais da genética. *Revista Brasileira de Bioética* 2008; 4(1-2): 118-119.
88. Sandler R. The ethics of reviving long extinct species. *Conservation Biology* 2014; 28(2): 354-360.
89. Sandler R. De-extinction: costs, benefits and ethics. *Nature Ecology & Evolution* 2017; 1(4): 0105.
90. Saulsberry A. Should extinction be forever. *Vanderbilt Undergraduate Research Journal* 2015; 10.
91. Schlebusch CM. Genomics: testing the limits of de-extinction. *Current Biology* 2022; 32(7): R324-R327.
92. Seddon PJ, Griffiths CJ, Soorae PS, Armstrong DP. Reversing defaunation: restoring species in a changing world. *Science* 2014; 345(6195): 406-412.
93. Seddon PJ a. The ecology of de-extinction. *Functional Ecology* 2017; 31(5): 992-995.
94. Seddon PJ b. De-extinction and barriers to the application of new conservation tools. *Hastings Center Report* 2017; 47: S5-S8.

95. Seddon PJ, King M. Creating proxies of extinct species: the bioethics of de-extinction. *Emerging Topics in Life Sciences* 2019; 3(6): 731-735.
96. Segar ST, Fayle TM, Srivastava DS, Lewinsohn TM, Lewis OT, Novotny V, Kitching RL, Maunsell SC. The role of evolution in shaping ecological networks. *Trends in Ecology & Evolution* 2020; 35(5): 454-466.
97. Segre M. Definição de bioética e sua relação com a ética, deontologia e diceologia. *Bioética* 1995; 3.
98. Selbach C, Seddon PJ, Poulin R. Parasites lost: neglecting a crucial element in de-extinction. *Trends in Parasitology* 2018; 34(1): 9-11.
99. Shapiro B. Mammoth 2.0: will genome engineering resurrect extinct species?. *Genome Biology* 2015; 16(1): 1-3.
100. Shapiro B. Pathways to de-extinction: how close can we get to resurrection of an extinct species?. *Functional Ecology* 2017; 31(5): 996-1002.
101. Sherkow JS, Greely HT. What if extinction is not forever? *Science* 2013; 340(6128): 32-33.
102. Siipi H, Finkelman L. The extinction and de-extinction of species. *Philosophy & Technology* 2017; 30: 427-441.
103. Slater MH, Clatterbuck H. A pragmatic approach to the possibility of de-extinction. *Biology & Philosophy* 2018; 33: 1-21.
104. Smith LC, Suzuki Jr J, Goff AK, Filion F, Therrien J, Murphy BD, Kohan-Ghadr HR, Lefebvre R, Brisville AC, Buczinski S, Perecin F, Meirelles FV. Developmental and epigenetic anomalies in cloned cattle. *Reproduction in Domestic Animals* 2012; 47: 107-114.
105. Steeves TE, Johnson JA, Hale ML. Maximising evolutionary potential in functional proxies for extinct species: a conservation genetic perspective on de-extinction. *Functional Ecology* 2017; 31(5): 1032-1040.
106. Thiele LP. Nature 4.0: assisted evolution, de-extinction, and ecological restoration technologies. *Global Environmental Politics* 2020; 20(3): 9-27.
107. Todesco M, Pascual MA, Owens GL, Ostevik KL, Moyers BT, Hübner S, Heredia SM, Hahn MA, Caseys C, Bock DG, Rieseberg LH. Hybridization and extinction. *Evolutionary Applications* 2016; 9(7): 892-908.
108. Trecelin AS, Zappa V. Clonagem animal: revisão de literatura. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária Garça* 2013; (20).
109. Tumennasan K, Tuya T, Hotta Y, Takase H, Speed RM, Chandley AC. Fertility investigations in the F1 hybrid and backcross progeny of cattle (*Bos taurus*) and yak (*B. grunniens*) in Mongolia. *Cytogenetic and Genome Research* 1997; 78(1): 69-73.

110. Turvey ST, Crees JJ. Extinction in the Anthropocene. *Current Biology* 2019; 29(19): R982-R986.
111. Upadhyay MR, Chen W, Lenstra JA, Goderie CRJ, MacHugh DE, Park SDE, Magee DA, Matassino D, Ciani F, Megens HJ, Arendonk JAM, Groenen MAM. Genetic origin, admixture and population history of aurochs (*Bos primigenius*) and primitive European cattle. *Heredity* 2017; 118(2): 169-176.
112. Valdez RX, Kuzma J, Cummings CL, Peterson MN. Anticipating risks, governance needs, and public perceptions of de-extinction. *Journal of Responsible Innovation* 2019; 6(2): 211-231.
113. Whittle PM, Stewart EJ, Fisher D. Re-creation tourism: de-extinction and its implications for nature-based recreation. *Current Issues in Tourism* 2015; 18(10): 908-912.
114. Wood JR, Perry GL, Wilmshurst JM. Using palaeoecology to determine baseline ecological requirements and interaction networks for de-extinction candidate species. *Functional Ecology* 2017; 31(5): 1012-1020.
115. Wrigley CA. Ice and Ivory: the cryopolitics of mammoth de-extinction. *Journal of Political Ecology* 2021; 28(1): 782-803.
116. Yadav AD, Sahu JD, Dubey AD, Gadpayle RD, Barwa DK, Kashyap K, Jain A, Verma U. An overview on species hybridization in animals. *Int. J. Fauna Biol. Stud* 2019; 6: 36-42.
117. Zong E, Fan G. The variety of sterility and gradual progression to fertility in hybrids of the horse and donkey. *Heredity* 1989; 62(3): 393-406.

Recebido: 28/08/2020. Aprovado: 20/11/2020.