

“INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NO SETOR PRODUTIVO DA CARNE: *IN VITRO*, A CARNE DO FUTURO?

"Technological innovation in the meat sector: in vitro, the meat of the future?"

**Ricardo Lacava Bailone, Hirla Costa Silva Fukushima, Roberto de Oliveira Roça,
Ricardo Carneiro Borra, Luís Kluwe de Aguiar**

São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho"; Universidade Federal de São Carlos; Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", Universidade Federal de São Carlos, Universidade Reino Unido

e-mails: ricardo.bailone@agricultura.gov.br, hirlafukushima@gmail.com, robertoroca@unesp.br, rcborra@gmail.com,
lddeaguiar@harper-adams.ac.uk

RESUMO

Métodos atuais de produção de carne estão relacionados a muitos problemas ambientais. Há muito especula-se sobre a produção de tecidos celulares *in vitro*. Em 2013 o primeiro hambúrguer bovino produzido em laboratório a partir de células-tronco foi apresentado e saboreado. Desde então, muitas empresas investem na pesquisa dessa tecnologia que possivelmente irá dominar o mercado de carne em um futuro próximo. A produção de carne *in vitro* é uma tecnologia alternativa que tem o potencial de contribuir nas ações frente às mudanças climáticas e problemas ambientais enfrentados pela humanidade neste início de século. Isso se dará através de uma melhor gestão dos recursos naturais, diminuição dos gases de efeito estufa e pegadas de carbono. Esta revisão tem o intuito de apresentar o histórico da evolução desta tecnologia inovadora, assim como salientar os riscos e barreiras à sua adoção.

Palavras-chave: Biotecnologia; Inovação; Carne de Cultura; Engenharia celular; Pegada ecológica; Sustentabilidade.

ACEITO EM: 15/12/2019

PUBLICADO: 30/12/2019

**"TECHNOLOGICAL INNOVATION IN THE MEAT SECTOR: *IN VITRO*,
THE MEAT OF THE FUTURE?"**

“Inovação tecnológica no setor produtivo da carne: in vitro, A carne do futuro”?

**Ricardo Lacava Bailone, Hirla Costa Silva Fukushima, Roberto de Oliveira Roça,
Ricardo Carneiro Borra, Luís Kluwe de Aguiar**

São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho"; Universidade Federal de São Carlos; Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", Universidade Federal de São Carlos, Universidade Reino Unido
e-mails: ricardo.bailone@agricultura.gov.br, hirlafukushima@gmail.com, robertoroça@unesp.br, rcborra@gmail.com,
ideaguiar@harper-adams.ac.uk

ABSTRACT

Current methods of meat production have been associated with many detrimental environmental problems. *In vitro* meat is now a new concept but since 2013 the technology behind it has demonstrated to be robust enough so that the first bovine hamburger produced from stem cells was taste tested. Since then, similar products have been proposed promising a range of applications such as helping with the world nutrition problem, interplanetary voyages and removing the traditional way animals are used to produce protein. As a result, *in vitro* meat production is being deemed an alternative to combat climate change by better management of natural resources, less emission of greenhouse gases and carbon footprint. This review aims to present a historical background evolution of this innovative technology as well as its highlight some risks and barriers to its adoption.

Keywords: Biotechnology; Innovation; Cultured Meat; Cellular engineering; Ecological footprint; Sustainability.

INTRODUÇÃO

Tomando-se a atual demanda de consumo, a humanidade precisará de 1,5 planetas equivalentes em 2050, colocando assim a biocapacidade planetária em grande risco (WWF, 2012). Portanto, inovações em tecnologias limpas para reduzir os danos ambientais causados pela produção de alimentos devem ser preconizadas.

De acordo com cálculo feito pela OMS (Organização Mundial de Saúde), a população global em 2014 chegou a sete bilhões de pessoas (WHO, 2014), e estima-se que alcance 9,7 bilhões em 2050 (Wilson, 2013). Baseando-se na demanda atual crescente da carne, calcula-se que o consumo da mesma deverá aumentar em aproximadamente 73% entre os anos de 1999 e 2050 (FAO, 2011). Parte dessa demanda deve-se à crescente população mundial, mas principalmente à crescente afluência da classe média em países como a China, Índia e Rússia (FAO, 2011). Assim sendo, é questionável a capacidade do melhoramento atual da eficiência na produção agropecuária face à crescente demanda por alimentos. Deve-se levar em conta também os altos custos com a emissão de gases do efeito estufa, aqueles provocados pelas queimadas e desmatamento para abertura de novos pastos e lavoura, e o uso indiscriminado da água doce (POST, 2014a). Se o aumento na demanda por alimentos, particularmente da carne, não for sustentável, o futuro da segurança alimentar global certamente estará comprometido (Fox, 2009).

Atualmente, cerca de trinta por cento da superfície terrestre é utilizada para produção pecuária e cerca de 70% do uso de água doce e 20% do consumo de energia disponível é direta ou indiretamente usado para produção de alimentos, dos quais uma proporção considerável é usada para a produção de carne (Bhat & BHAT, 2011b). De acordo com o Greenpeace-International (2009), a pecuária na Amazônia Brasileira, é sozinha responsável por 14% do desmatamento anual no planeta com estimativas ao redor de 80% de todo o desmatamento na região amazônica (Chomitz & Thomas, 2001; Grieg-Gran, 2006).

Como uma alternativa para a produção tradicional da carne animal, a produção de carne de laboratório ou *in vitro* propicia a fabricação de carne utilizando-se tecnologias de engenharia celular com uso de células-tronco de um animal doador coletadas através de biópsia. Como vantagem, tem-se discutido a produção de carne sem a matança de animais. Além disso, a produção *in vitro* dá-se provendo-se idênticas condições ambientais para as quais as células se desenvolvam e se proliferem. Embora ainda no início, em um futuro próximo, a produção de carne *in vitro* pode trazer diversas vantagens em relação à produção tradicional de carne (Haagsman, Hellingwerf & Roelen, 2009).

Como vantagens, primeiramente, podemos citar o fim dos problemas relacionados ao bem-estar animal, visto que não precisaremos mais criar animais em fazendas, tendo que manuseá-los desde o nascimento até o abate nos frigoríficos. Animais poderiam viver em reservas ambientais destinados a preservação da fauna e da flora, sem a finalidade de servirem como alimentos ao homem. Também haveria uma melhor gestão do uso de recursos naturais, por meio de parâmetros altamente controlados dentro do laboratório e melhorias na conversão alimentar, minimizando impactos ambientais pelo uso indiscriminado da água, terra e energia.

Teríamos ainda como benefícios a redução do aquecimento global e da poluição ambiental pela redução da emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa por ruminantes, que representa 15% do total de emissões no mundo (Post, 2014b). Podemos ainda citar a redução de contaminação da carne por metais pesados e resíduos ambientais presentes na natureza, assim como por antibióticos e medicamentos administrados pelo homem, comumente usados de forma indiscriminada na criação animal. Com uma redução no uso de antibióticos, estaríamos reduzindo a possibilidade de resistências bacterianas e da geração de superbactérias, um problema global de saúde coletiva que a humanidade atualmente enfrenta.

Com os parâmetros controlados dentro de um laboratório e a supressão do trânsito de animais de criação, haveria um melhor controle de doenças animais que assolam o planeta, causando grandes prejuízos econômicos,

como por exemplo, a Peste Suína Africana e a Gripe Aviária, além de melhor controle de zoonoses, que são doenças transmitidas do animal para o homem, como por exemplo, salmonelose, cisticercose e tuberculose.

Além dos benefícios já citados, a produção de carne *in vitro* também poderia representar uma quebra de paradigmas frente aos abates religiosos, como *Halal* e *Kosher*, abates realizados pelos povos muçumanos e judeus, respectivamente, que possuem regras específicas para o abate animal, além de ser uma alternativa para pessoas veganas por razões éticas (Bhat, Kumar & Bhat, 2017; Bhat, Bhat & Pathak, 2014).

Outras situações em que a carne *in vitro* poderia ser vantajosa seriam em missões espaciais de longa duração e em bases espaciais, que tendem a aumentar nos próximos anos visto a necessidade de se colonizar o espaço para a continuidade da espécie humana; além do seu uso em regiões polares, acampamentos de tropas de guerra em locais isolados, ou até mesmo em bunkers projetados para sobrevivência em longo prazo após um ataque nuclear ou biológico, no qual seria mais econômico produzir alimentos *in situ*, sendo a produção de carne *in vitro* uma das opções prospectivas. Para missões espaciais por períodos mais longos e bases permanentes, a carne *in vitro* se torna a opção mais atrativa, servindo de suporte para missões de colonização de Marte ou outros planetas (Drysdale, Ewert & Hanford, 2003). Deste modo, um sistema de suporte de vida ecológico controlado não apenas forneceria alimentos frescos, mas também lidaria com problemas relacionados aos resíduos e danos gerados por este setor (Drysdale, Ewert & Hanford, 2003).

Histórico da carne *in vitro*

Cientistas têm se interessado pela biologia celular desde o advento dos microscópios em 1800, há pouco mais de 200 anos. Em 1839, o pesquisador alemão Theodor Schwann lançou as bases da teoria celular, e desde então, pesquisadores ao redor do mundo especulam a possibilidade de gerar um organismo adulto completo a partir de apenas uma célula (Baluška, Volkmann & Barlow, 2004; Bunge, Bunge & Eldridge, 1986).

As primeiras experiências com cultivos de células animais, embora incipientes, datam do início do século passado. Entre 1906 e 1910, Ross Harrison, da Universidade de Yale, por meio da técnica da gota suspensa e linfa de coração de rã, tentou esclarecer como era formada a fibra nervosa, demonstrando que sua formação advinha do resultado do crescimento da própria célula nervosa. Confirmou ainda a célula como sendo a unidade de desenvolvimento primário dos organismos multicelulares (Alvez et al., 2009)

Em 1912, Alexis Carrel, clínico francês e Prêmio Nobel de Medicina no mesmo ano, conseguiu manter um pedaço de músculo do coração de embrião de galinha batendo em uma placa de Petri, demonstrando que era possível manter vivo o tecido muscular fora do corpo, desde que fosse alimentado com nutrientes (Bhat & Bhat, 2011a). Foi o início do cultivo celular em laboratório. Visto a eficácia de tal procedimento, o fragmento de coração preparado em 1912 foi mantido em cultivo por mais de 23 anos (Alvez et al., 2009).

Em 1932, no livro “Pensamentos e Aventuras”, Winston Churchill chegou a citar a possibilidade de ser produzir carne por meios alternativos, com a seguinte citação: “Daqui a cinquenta anos, devemos fugir do absurdo de cultivar uma galinha inteira para comer o peito ou a asa” (Churchill, 1932). No entanto, naquela época, a cultura de células e tecidos era inexistente e a ideia ficou adormecida por algumas décadas.

No período da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), a procura por vacinas virais, em particular para a poliomielite, foi um dos principais propulsores do desenvolvimento de cultivo de células animais. A partir deste período, a utilização de células animais em pesquisas científicas acelerou (Alvez et al., 2009).

Na década de 1950s, o holandês Willem Van Eelen, um dos precursores da engenharia celular, teve a ideia de utilizar cultura de tecidos para a geração de produtos cárneos. Demorou até 1999 antes da ideia teórica de Van

Eelen ser patenteada, sendo o primeiro cientista a obter patente nos níveis internacional e americano para o conceito de processamento de carne usando a técnica de cultura da carne *in vitro* (Schneider, 2013).

A patente foi intitulada “Produção industrial de carne utilizando métodos de cultura celular”, onde seria construído um suporte muito fino (*scaffold*), preferencialmente comestível, para permitir que as células musculares se ancorassem e crescessem em meio de cultura, trocado quantas vezes fosse necessário. O nome desta troca de meio de cultura é denominado de passagem, que se refere a dissociação das células da superfície e redistribuição em densidades mais baixas em meio fresco para impulsionar a próxima fase de crescimento, com o objetivo de mudar o meio para remover resíduos como lactato e amônia, formados pela quebra de glicose e glutamina, respectivamente, e promover mais superfície de contato para o crescimento celular. A patente afirmava que esse processo tornaria o produto saudável e livre de hormônios de crescimento em níveis que excedem os níveis fisiológicos (Van Eelen, Van Kooten & Westerhof, 1999). A principal razão pela qual o pesquisador estava muito interessado em cultivar carne *in vitro* foi sua experiência com a fome como prisioneiro na Segunda Guerra Mundial (Specter, 2011).

Com a descoberta das células-tronco em 1963 por James Still, a engenharia celular evoluiu de maneira exponencial. O artigo da descoberta foi publicado em 1963 na revista *Nature*, em experimento onde Still descobriu, acidentalmente, que as células transplantadas da medula óssea no baço de ratos acabavam por se autorreplicarem (Becker, 1963). Em 1998, James Thomson, cientista da Universidade de Wisconsin em Madison, com sucesso retirou células-tronco de embriões em clínicas de fertilidade e as cultivou em laboratório, estabelecendo a primeira linhagem de células-tronco embrionárias humanas.

Em 2000, a NASA (Agência Espacial dos Estados Unidos) iniciou suas primeiras experiências para produção de carne *in vitro*, com o peixe japonês, também conhecido como Goldenfish ou Kingiuo (*Carassius auratus*), produzindo células musculares em placas de Petri a partir de massa muscular esquelética abdominal dorsal de peixes adultos, com técnicas de engenharia celular, visando a produção de alimentos no espaço. O principal objetivo do estudo era encontrar um recurso alimentar alternativo para sustentar uma longa jornada no espaço da Terra à Lua ou a Marte. O estudo foi financiado pela NASA por meio de uma bolsa de pesquisa inovadora para pequenas empresas no valor de US\$62.000,00 (Benjaminson, Lehrer & Macklin, 2002).

A primeira carne de células musculares cultivadas comestíveis foi produzida em 2003, por Oron Catts and Ionat Zurr, em um evento denominado Tissue Culture and Art., onde serviram bifes de rã *in vitro*, produzidos a um custo de aproximadamente US\$650/g, na exposição L'Art Biotech em Nantes, França. Os autores pretendiam "divertir-se com o gosto dos franceses e seu ressentimento quanto a alimentos produzidos por engenharia celular, além da objeção de consumir outras espécies, como rãs" (Catts e Zurr 2008, 2013, 2014).

Em 2013, foi apresentado em Londres o primeiro hambúrguer bovino criado em laboratório, na Universidade de Maastricht, na Holanda, com o grupo do pesquisador Mark Post, usando-se células-tronco colhidas da paleta de uma vaca. Para produzir o hambúrguer, a equipe de Post cultivou células satélites, que são células estaminais capazes somente de se tornar células musculares (Maastricht University, 2013). Esta tecnologia diferia consideravelmente de Benjaminson et al., que utilizaram pedaços de músculo. O hambúrguer, com cerca de 140 gramas, custou mais de US\$ 330.000,00, mas os cientistas da Universidade de Maastricht esperam com o avanço das pesquisas melhorar o sabor e a qualidade da carne *in vitro*, tornando-a mais acessível. Cozido e provado por um painel sensorial no Riverside Studios em Londres, palestrantes disseram que o hambúrguer provou ser “quase” como um convencional (Zaraska, 2013).

Deste modo, a partir de então, a carne *in vitro* tornou-se uma aliada contra as mudanças climáticas e a degradação do meio ambiente. Atualmente, existem cerca de 30 *startups* ao redor do mundo que desenvolvem este tipo de tecnologia, sendo a maioria delas localizada na Califórnia, no Vale do Silício. Mark Post acredita que todas essas empresas estão fazendo os mesmos cálculos para lançar seus produtos no mercado na década de 2020, visto que já há muito investimento nessa área. Cada uma destas empresas desenvolve diferentes tecnologias para produção de carnes com diferentes espécies, como por exemplo, nuggets de frango utilizando-se pena da galinha como fonte primária de célula-tronco (Just's San Francisco, Califórnia, USA), carne de frango (SuperMeat,

Telavive, Israel; Memphis Meat, Califórnia, USA); hambúrguer de salmão (Terramino Foods, Califórnia, USA); carne de atum (Finless Foods, Califórnia, USA); bacon (University of Bath, Inglaterra), dentre outras.

Técnicas de produção

Técnicas para produção de carne *in vitro* não estão além de nossa imaginação, e a metodologia básica envolve o cultivo de tecido muscular em um meio de cultura com parâmetros altamente controlados (Bhat and Bhat, 2011a). O princípio do processo de fabricação de carne de laboratório está descrito na literatura (Post, 2012; Moritz, Verbruggen & Post, 2015), sendo que a metodologia foi inspirada em técnicas de regeneração da medicina humana para reconstrução de tecido muscular deteriorado de pacientes a partir de suas próprias células.

Resumidamente, para produzir carne *in vitro*, células-tronco (também chamadas de células estaminais) são retiradas dos animais a partir de uma biópsia de animais vivos ou de embriões de animais e então colocadas em meio de cultura apropriado, onde elas darão início à proliferação e crescimento, independentemente da espécie. Multiplicadas e diferenciadas em células musculares (mioblastos), se fundem para formar miotubos e construir fibras musculares. Assim que as fibras musculares estão maduras, podem então ser coletadas para a montagem do produto final, podendo ser acrescentados outros compostos para dar sabor, cor e textura, melhorando a qualidade sensorial do produto final.

A tecnologia de células-tronco para produzir carne cultivada requer quatro etapas: (1) coleta das células-tronco, (2) expansão do número de células-tronco, (3) diferenciação de células-tronco em células musculares esqueléticas e fibras, e (4) montagem do produto final (Post, 2014b).

Nestas técnicas, os mioblastos embrionários isolados de células satélites de embriões de animais domésticos ou de músculo esquelético isolados de uma biópsia de músculo de um animal de criação são proliferados em meio de cultura celular, ancorados a um suporte (*scaffold*) ou algum tipo de transportador como uma rede de colágeno ou esferas de microtransportadores. Pelo fato das células-tronco musculares serem aderentes, é necessário um suporte, também chamado de *scaffold*, para as células se ancorarem. Então são introduzidas em um biorreator com parâmetros controlados e preenchidos com um meio de cultura rico em nutrientes e fatores de crescimento. Com a ajuda de variáveis ambientais, essas células se fundem para formar miotubos, que se diferenciam em miofibras com a ajuda de meios de diferenciação (Kosnik, Faulkner & Dennis, 2003). O grande número resultante de miofibras pode então ser colhido a partir do *scaffold*, triturado e usado na preparação de produtos de carne à base de emulsão.

A produção de carne *in vitro* para produtos de carne triturados e processados, como salsichas, hambúrgueres e *nuggets* é mais fácil de desenvolver em relação às peças de carne tridimensionais (Datar & Betti, 2010; Bhat & Bhat, 2011a; 2011c), e atualmente pesquisas trabalham com este tipo de tecnologia. Para a produção comercial de carnes não processadas altamente estruturadas, ou seja, tridimensionais, ainda é necessário um grande volume de pesquisas para ser consolidado (Bhat & Bhat, 2011c). Em longo prazo, a carne fabricada através de engenharia de tecidos é o futuro inevitável para a humanidade; no entanto, a melhor técnica de produção ainda não está totalmente estabelecida. Em curto prazo, o custo extremamente alto da biofabricação de carne produzida *in vitro* será o principal obstáculo potencial, embora a produção em larga escala e a inserção no mercado sejam geralmente associadas a uma drástica redução de preço (Bhat e Bhat, 2011a). Futuramente, esta produção de carne em laboratório em grandes biorreatores, poderá ser comparada de forma genérica à produção de cervejas, onde os grandes tanques armazenariam células musculares ao invés do malte moído, como preconizado pelo pesquisador Dr. Eric Schulze, vice-presidente da *startup* Memphis Meat's.

Tendências e barreiras:

Como toda nova tecnologia, o custo do produto tende a diminuir com o passar do tempo e o aumento da produção em larga escala, assim como com o desenvolvimento de novas técnicas, tornando a carne *in vitro* uma realidade, assim como competitiva em relação à carne tradicionalmente produzida a partir da criação de animais vivos. Será como uma quebra de paradigmas, podendo ser comparada com a invenção da energia elétrica, do avião ou da internet.

Quanto à aceitação do produto, pesquisa de Flycatcher (2013), na Holanda, mostrou que 63% dos entrevistados eram a favor da carne *in vitro*, enquanto 37% eram contra, independente se iriam ou não comprar a carne. Já 52% dos entrevistados estavam dispostos a experimentar. Quando questionados se comprariam carne *in vitro*, 23% responderam que com certeza, 29% que provavelmente comprariam, 23% talvez, 13% provavelmente não, e apenas 12% disseram que não comprariam de modo algum. Em pesquisa semelhante, o jornal Britânico *The Guardian* demonstrou que 68% dos entrevistados gostariam de experimentar carne de laboratório (Post, 2014a). Em estudo nos Estados Unidos, embora a maioria dos entrevistados estivesse disposta a experimentar carne *in vitro*, apenas um terço estava definitivamente ou provavelmente disposto a ingerir carne *in vitro* regularmente ou como substituto da carne convencional. As principais preocupações eram com o preço elevado no início, e com o sabor e apelo limitados, além da preocupação de que o produto não fosse natural (Wilks & Phillips, 2017). Em outro estudo conduzido em quatro países (Brasil, Reino Unido, República Dominicana e Espanha), a aceitação dos entrevistados variou de 11,5% (Brasil) até 42% (Espanha) (Gómez-Luciano, Aguiar, Vriesekoop & Urbano, 2019). Apesar das adversidades, a sociedade moderna busca hoje alimentos que sejam seguros, acessíveis e ambientalmente corretos, sendo uma tendência a aceitação de métodos humanitários e sustentáveis. Deste modo, a tendência é que empresas comecem a comercializar estes produtos já na próxima década.

Atualmente, como barreiras à produção de carne *in vitro*, encontra-se a dificuldade em eliminar 100% o uso de animais, pois muitos meios de cultura para crescimento celular usa-se soro fetal bovino para suprir as necessidades das células, além de, até o momento, ser necessário o uso de células-tronco de animais como fonte primária de produção. Para muitos tipos de células, meios sem componentes animais já estão sendo desenvolvidos, contudo, para células-tronco ou satélites, que são dependentes de altas concentrações de soro, o meio isento deste componente ainda não está disponível e, por conseguinte, tem de ser desenvolvido com base nos meios já existentes na literatura para outros tipos de células (Post, 2014b). Outro ponto importante seria o cultivo e armazenamento de células-tronco nos laboratórios, sem que se precisasse fazer uma biópsia do animal vivo para a retirada destas células. Para tanto, estudos devem ser conduzidos nesta direção, com a finalidade de não mais precisar realizar nenhum procedimento evasivo em animais vivos.

A biomimética é outro fator que também deve ser trabalhado, com a suposição de que a carne cultivada *in vitro* deva imitar a carne convencional produzida com o animal *in vivo* o mais próximo possível em relação ao sabor, aparência, textura e valor nutricional. Uma vez que a carne cultivada é originária das mesmas células que produzem o produto pecuário, é, em teoria, possível criar uma fenocópia que reproduza fielmente as características da carne. Com base nas experiências com o primeiro protótipo em 2013, Post e sua equipe focam atualmente em complementar o tecido muscular com tecido adiposo para melhoria da palatabilidade, aumentar a produção de proteínas, principalmente a mioglobina, para melhoria da cor e sabor, e a contração das proteínas actina e miosina, replicando no laboratório o que ocorre nas células *in vivo*. Com base na otimização destes três parâmetros, os autores acreditam que levarão a uma melhora significativa na qualidade da carne *in vitro* em relação ao primeiro protótipo (Post, 2014b). Outro ponto que merece destaque e que estudos deveriam ser direcionados, seria a reutilização do meio de cultura, retirando-se resíduos gerados como amônia e lactato, e utilizando glicose e glutamina ainda presentes no meio, diminuindo assim a geração de efluentes e reaproveitando os nutrientes não absorvidos pelas células.

Para a concretização desta tecnologia, é necessário que legislações sejam elaboradas por organizações internacionais como *Codex Alimentarius*, Organização Mundial de Saúde, Organização Mundial de Saúde

Animal, assim como a nível nacional, por países produtores, importadores ou exportadores de carne, através de Portarias, Instruções Normativas, Leis, sempre embasados em estudos técnico-científicos.

A produção de carne em laboratório ainda está no início, ou seja, preconizam-se a produção de massas celulares para a produção de embutidos e derivados da carne, contudo, com o passar do tempo e o desenvolvimento de novas tecnologias, será possível a produção de peças vascularizadas de carne produzidas tridimensionalmente. Poderá chegar o dia em que cada residência terá seu biorreator dentro de casa e as pessoas comprarão nos mercados apenas as células-tronco da espécie animal que desejam se alimentar para incubarem em seu biorreator.

Conclusões

Para a continuidade da humanidade, técnicas alternativas de produção de proteína animal devem ser adotadas, sendo a produção de carne de laboratório produzida por meio da engenharia de tecidos inevitável para o futuro das próximas gerações, com melhor gestão dos recursos naturais. Com o avanço da engenharia celular e da biotecnologia nos últimos anos, inovações tecnológicas no setor produtivo da carne irão revolucionar a cadeia de produção nas próximas décadas. Os métodos atuais de produção de carne estão relacionados a muitos problemas ambientais, e com a crescente demanda da população por carne, é incerto se inovações na gestão da pecuária poderiam continuar a atender a crescente demanda nos moldes atuais.

Apesar de pesquisas demonstrarem aceitação dos consumidores pelo produto *in vitro*, como barreiras, ainda existem a carência de legislações e de tecnologias que tornem o sistema comercialmente viável sem o uso de componentes animais e com um custo relativamente competitivo com o produto já existente no mercado. Para tanto, pesquisas devem ser direcionadas para desenvolver novas metodologias e protocolos de produção nos próximos anos, com base nas diretrizes apresentadas nesta revisão.

REFERÊNCIAS:

- Alvez, P.M.M., Carrondo, M.J.T., Cruz, P.E., Moraes, A.M., Augusto, E.F., & Castilho, L.R. (2009) Introdução à tecnologia de cultivo em células animais. *Tecnologia do Cultivo de Células Animais*, 2.
- Baluška, F., Volkmann, D., & Barlow, P.W. (2004) Eukaryotic cells and their cell bodies: cell theory revised. *Annals of Botany*, 94(1), 9-32.
- Becker, A.J., McCulloch, E.A., & Till, J.E. (1963) Cytological demonstration of the clonal nature of spleen colonies derived from transplanted mouse marrow cells. *Nature*, 197(4866), 452-454.
- Benjaminson, M.A., Gilchrist, J.A., & Lorenz, M. (2002) *In vitro* edible muscle protein production system (MPPS): Stage 1, fish. *Acta Astronaut*, 51(12), 879–89.
- Benjaminson, M.A., Lehrer, S., & Macklin, D.A. (1998) Bioconversion systems for food and water on long term space missions. *Acta Astronautica*, 43(3-6), 329-348.
- Bhat, Z.F., Kumar, S., & Bhat, H.F. (2017) *In vitro* meat: A future animal-free harvest. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(4), 782-789.
- Bhat, Z.F., Bhat, H.F., & Pathak, V. Prospects for *In vitro* cultured meat - a future harvest. In: Principles of Tissue Engineering, (4th ed., pp. 1663–1678), Lanza, R., Langer, R. and Vacanti, J. P., Eds., Elsevier Publication, 2014.

- Bhat, Z.F., & Bhat, H. (2011a) Animal-free meat biofabrication. *American Journal of Food Technology*, 6(6), 441-459.
- Bhat, Z.F., & Bhat, H. (2011b) Tissue engineered meat- future meat. *Journal of Stores Products and Postharvest*, 2, 1-10.
- Bhat, Z.F., & Bhat, H. (2011c) Prospectus of cultured meat-advancing meat alternatives. *Journal of Food Sciences*. 48(2), 125–140.
- Bunge, R.P., Bunge, M.B., & Eldridge, C.F. (1986) Linkage between axonal ensheathment and basal lamina production by Schwann cells. *Annual review of neuroscience*, 9(1), 305-328.
- Catts, O., & Zurr, I. (2008) The ethics of experimental engagement with the manipulation of life. In: Da Costa B and Philip K (eds) *Tactical Biopolitics: Art, Activism, and Technoscience*. Cambridge, MA: The MIT Press, 125–142.
- Catts, O., & Zurr, I. (2013) Disembodied livestock: The promise of a semi-living utopia. *Parallax*, 19(1), 101–113.
- Catts, O., & Zurr, I. (2014) Growing for different ends. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 56, 20–29.
- Chomitz, K.M., Thomas, T.S. *Geographic patterns of land use and land intensity in the Brazilian Amazon*. World Bank Policy Research Working Paper No. 2687. 2001.
- Churchill, W. (1932) Fifty years hence. In: *Thoughts and Adventures* London: Thornton Butterworth, 24–27.
- Datar, I., & Betti, M. (2010) Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(1), 13-22.
- Drysdale, A.E., Ewert, M.K., & Hanford, A.J. (2003) Life support approaches for Mars missions. *Advances in Space Research*, 31(1), 51-61.
- FAO. Food and Agriculture Organization (2011). *World Livestock Livestock in Food Security*. FAO, Rome (2011). Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113401059>>. Acesso em: 03/07/2019.
- Flycatcher. Kweekvlees 2013. Cited February 6, 2014. Disponível em: <http://www.flycatcherpanel.nl/news/item/nwsA1697/media/images/Resultaten_onderzoek_kweekvlees.pdf>. Acesso em: 03/07/2019.
- Fox, J.L. (2009) Test tube meat on the menu? *Nature Biotechnology*, 27, 873.
- Greenpeace-International. (2009). *Slaughtering the Amazon*. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/international/press/reports/slaughteringtheamazon>>. Acesso em: 03/07/2019.
- Haagsman, H.P., Hellingwerf, K.J., & Roelen, B.A.J. (2009) Production of animal proteins by cell systems. *Utrecht: Faculty of Veterinary Medicine*. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.732.9877&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 03/07/2019.

- Gómez-Luciano, C.A., Aguiar, L.K., Vriesekoop, F., & Urbano, B. (2019) Consumers' willingness to purchase three alternatives to meat proteins in the United Kingdom, Spain, Brazil and the Dominican Republic. *Food Quality and Preference*, 78 , 103732.
- Kosnik, P.E., Faulkner, J.A., & Dennis, R.G. (2001) Functional development of engineered skeletal muscle from adult and neonatal rats. *Tissue engineering*, 7(5), 573-584.
- Maastricht University (2013) *Background: Cultured Beef. Media Material for 2013 burger tasting*. Maastricht: Maastricht University.
- Moritz, M.S., Verbruggen, S.E., & Post, M.J. (2015) Alternatives for large-scale production of cultured beef: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(2), 208-216.
- Post, M.J. (2014a) Cultured beef: medical technology to produce food. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1039-1041.
- Post, M.J. (2014b) An alternative animal protein source: cultured beef. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1328(1), 29-33.
- Post, M.J. (2012) Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297-301.
- Schneider, Z. (2013) *In vitro* Meat: Space travel, cannibalism, and federal regulation. *Houston Law Review*, 50, 991-1024
- Specter, M. Test-tube burgers. *The New Yorker*, 23, p.32-38, 2011.
- Van Eelen, W.F., Van Kooten, W.J., & Westerhof, W. (1999) Industrial scale production of meat from in vitro cell cultures. Disponível em: <<http://patentscope.wipo.int/search/en/WO1999031222>>. Acesso em: 03/07/2019.
- Zaraska, M. (2013). Lab-grown beef taste test: 'Almost' like a burger. The Washington Post Published: August 5, 2013, Disponível em: <http://www.washingtonpost.com/national/health-science/lab-grownbeef-taste-test-almost-like-a-burger/2013/08/05/921a5996-fdf4-11e2-96a8-d3b921c0924a_story.html>. Acesso em: 03/06/2019.
- WHO. World Health Organization (2014). Urban population growth. Disponível em: <http://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth_text/en/>. Acesso em: 03/07/2019.
- Wilks, M., & Phillips, C.J. (2017) Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States. *PloS one*, 12(2), e0171904.
- Wilson, S. (2013). World population to reach 9.7 billion by 2050 new study predicts. Disponível em: <<http://www.telegraph.co.uk/earth/10348822/World-population-to-reach-9.7-billion-by-2050-new-study-predicts.html>>. Acesso em: 03/07/2019.
- WWF. World Wide Fund for Nature (2012). A Pegada Ecológica de Campo Grande e a família de pegadas. Brasília, 2012. Disponível em: <https://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/pegada_ecologica_campo_grande.pdf>. Acesso em: 18/09/2019.