

## TENDÊNCIAS E DESAFIOS NA PRODUÇÃO DE “CARNE LIMPA”: UMA REVISÃO UTILIZANDO A METHODI ORDINATIO

### TRENDS AND CHALLENGES OF “CLEAN MEAT” PRODUCTION: A REVIEW USING METHODI ORDINATIO

Mayara Scheffer<sup>1</sup> Alessandra C. Novak Sydney<sup>2</sup> Sabrina Ávila Rodrigues<sup>3</sup> 

**Resumo:** Os sistemas de produção e consumo de carne são alvos de estudos, críticas e questionamentos há mais de uma década. A tendência crescente de consumo de carne acompanhada do aumento da população mundial sugere a busca por alternativas para os sistemas produtivos convencionais de alimentos para que, no futuro, segurança e qualidade nutricional sejam garantidos a população. Neste contexto, as carnes cultivadas em laboratório, também chamadas de “carne *in vitro*” ou “carne limpa”, fazem parte de um novo campo de estudo que pretende atrair consumidores mais críticos com relação aos danos ambientais da produção convencional. Esta revisão sistemática de literatura foi elaborada utilizando a Methodi Ordinatio para obtenção dos artigos de maior relevância sobre o tema considerando fatores como o número de citações, ano de publicação e fator de impacto. Os dados foram extraídos das bases de dados Science Direct, Scopus e Web of Science e a seguinte combinação de palavras-chave e operadores booleanos foi utilizada (“*in vitro* meat” OR “cultivated meat” OR “cultured meat”) AND (“sustainability” OR “food security”). As 20 publicações resultantes foram gerenciadas utilizando o Mendeley e uma análise de tendência baseada na recorrência de palavras-chave foi feita utilizando o VOSviewer. Os resultados forneceram um panorama sobre os principais *drivers* de consumo de carne, um breve histórico sobre as carnes *in vitro* e suas principais técnicas de produção. Mesmo com o avanço da tecnologia, a indústria da “carne limpa” ainda enfrenta alguns entraves com relação ao uso de matérias-primas livres componentes animais para o cultivo, o custo e a palatabilidade do produto final, a produção em larga escala, além da comprovação da sustentabilidade ambiental do processo. A carne *in vitro* é, portanto, uma área de fronteira da biotecnologia, o que propicia um campo amplo para o desenvolvimento de pesquisas e de novas técnicas para se tornar um produto palpável.

**Palavras-chave:** Carnes *in vitro*. Sustentabilidade. Segurança alimentar. Agricultura celular. Inovação.

**Abstract:** Meat production systems and consumption are targets for studies, criticism and questions for more than a decade. The increasing trend in meat consumption accompanied by

---

<sup>1</sup> Mestranda em Biotecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Câmpus Ponta Grossa), mayscheffer25@gmail.com

<sup>2</sup> Doutora em Processos Biotecnológicos, Universidade Federal do Paraná (UFPR), alessandrac@utfpr.edu.br

<sup>3</sup> Doutora em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas (UFPeI), sabrinaavila@professores.utfpr.edu.br

the increase of world's population suggest the search for alternatives to conventional food production systems so that, in the future, nutritional security and quality are guaranteed to the population. In this context, meat cultivated in laboratories, also called “in vitro meat” or “clean meat”, are part of a new field of study that aims to attract most critical consumers regarding to environmental damage of conventional production. This systematic literature review was elaborated using Methodi Ordinatio in order to obtain the highest relevant research papers on this subject considering factors such as number of citations, year of publication and impact factor. The data was extracted from Science Direct, Scopus and Web of Science databases and the following keywords and Boolean operators' combination were used (“in vitro meat” OR “cultivated meat” OR “cultured meat”) AND (“sustainability” OR “food security”). The resulting 20 publications were managed using Mendeley and a trend analysis was performed based on the keywords' reoccurrence using VOSviewer. The results provided an overview about the main meat consumption drivers, a little record about in vitro meat and its main production techniques. Even with the technological advances, “clean meat” industry still faces some drawbacks regarding to the animal component-free cell culture media, the costs and palatability of the ending product, the large-scale production, besides the process environmental sustainability proof of concept. Therefore, in vitro meat is a frontier area in biotechnology, what can provide a broad field to research development and new techniques to turn the product into something tangible.

**Keywords:** In vitro meat. Sustainability. Food security. Cellular agriculture. Innovation.

# 1 INTRODUÇÃO

O tema alimentação e os hábitos de consumo de alimentos certamente atingem toda a população mundial. Todos precisam se alimentar independente de idade, gênero, raça, classe social ou localização geográfica, mas a forma, quantidade, frequência e variedade como este processo acontece é influenciado por diversos fatores os quais podem ser técnicos, econômicos, sociais, nutricionais, culturais ou sensoriais. A produção e consumo dos alimentos impacta a sociedade de diversas maneiras e por isto, ao longo do tempo, é comum surgirem controvérsias acerca de determinados alimentos e com a carne não poderia ser diferente. O consumo elevado de carne pode acarretar doenças ou trazer impactos irreversíveis ao meio ambiente? Quais as tendências de substituição das proteínas animais por proteínas alternativas na alimentação? Estamos perto de uma solução técnica e comercialmente viável para uma carne “mais limpa”? Pensando nestas perguntas procuramos conhecer mais este tema contextualizando o cenário atual e apontando perspectivas futuras.

O cenário atual, no qual grande parte da população mundial encontra-se em quarentena devido a pandemia do novo corona vírus tem causado, além de impactos severos à saúde humana, impactos econômicos significativos nas cadeias produtivas e de serviços, sendo a produção de alimentos uma das principais afetadas (GALANAKIS, 2020). Somado a isto, a preocupação com o acesso, a segurança e a qualidade nutricional dos alimentos tem aumentado, tendo em vista o fato da população mundial estimada para o ano de 2050 ser de cerca de 10 bilhões de habitantes, ou seja, 25% maior que a população atual (BAHADUR KC et al., 2018).

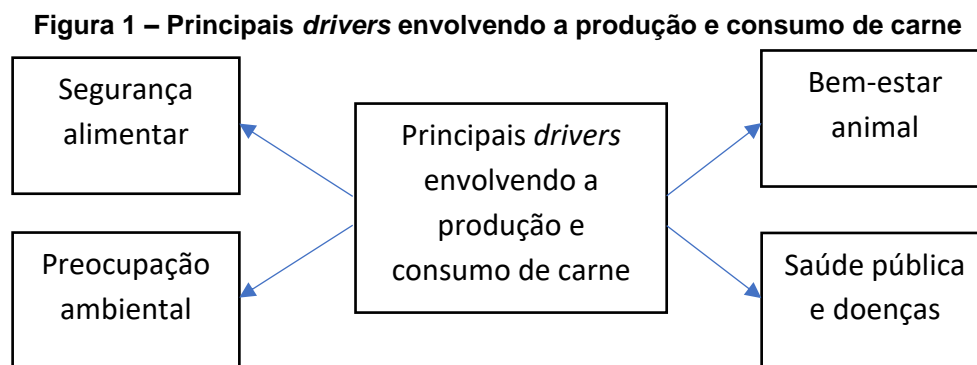
A FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) estima um aumento de 76% no consumo de carne até a metade do século (ALEXANDRATOS, NIKOS ; BRUINSMA, 2012). Segundo pesquisas, a demanda tem crescido nos últimos anos impulsionada por uma nova “percepção de bem-estar social” e de um maior poder aquisitivo da população, principalmente nos países em desenvolvimento, e por consequência a utilização de recursos para a sua produção também aumenta (ODEGARD; VAN DER VOET, 2014; VAN VUUREN *et al.*, 2018).

Há evidências da correlação entre consumo de carnes e a renda média da população. Em países de renda alta, o consumo se encontra em um platô nos últimos anos e em alguns deles apresenta tendência de queda, evidenciado pela busca e pela disponibilidade de fontes alternativas de proteínas, enquanto nos países de renda média esse consumo tem aumentado drasticamente (CHARLES J. GODFRAY et al., 2018). Em países onde há uma densidade populacional mais elevada, se observa ainda, a busca por fontes não convencionais de proteína animal, em condições geralmente inseguras (GALANAKIS, 2020). No Brasil, segundo as “Projeções do Agronegócio” publicadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), o consumo de carnes bovina, suína e de frango sofrerão um aumento de 10,4, 24,2 e 27,6%, respectivamente, até o ano de 2030 (MAPA, 2020).

Apesar da carne ser uma boa fonte de energia e possuir em sua composição diversos nutrientes necessários para uma dieta equilibrada, como proteínas, ferro, zinco e vitamina B12, o elevado consumo principalmente de carne vermelha ou processada, pode estar associado ao surgimento de várias doenças, como diabetes, problemas cardiovasculares e até alguns tipos de câncer sobretudo se estiver associado ao tabagismo ou consumo de álcool, por exemplo (CHARLES J. GODFRAY et al., 2018). As dúvidas acerca de informações nem sempre verdadeiras disseminadas sobre o uso de antibióticos e hormônios de crescimento nos animais também é outro ponto que causa certa preocupação entre as pessoas que buscam uma dieta livre de proteínas animais (VAN DER WEELE *et al.*, 2019).

Além da segurança alimentar, as questões envolvendo o meio ambiente e a conservação da biodiversidade também são pertinentes, sendo a pecuária apontada como uma das atividades com maior emissão de gases do efeito estufa e responsável pelo uso extensivo de recursos finitos, como solos e água (MACHOVINA; FEELEY; RIPPLE, 2015). O bem-estar animal é outro fator que causa forte apelo, principalmente pelo surgimento de campanhas de conscientização contra crueldade animal ao redor no mundo (KADIM *et al.*, 2015).

As questões apontadas podem ser classificadas como os principais “drivers” envolvendo a produção e consumo de carne na atualidade e encontram-se resumidos na Figura 1.



Fonte: Autoria própria (2020)

Diante de um cenário de possível escassez de recursos naturais e tendo em vista que a produção de alimentos pode se tornar insuficiente para abastecer a população no futuro do modo como produzimos, é indispensável se pensar em novas estratégias para garantir que toda a população tenha acesso a alimentos de qualidade. Em 2015, a ONU (Organização das Nações Unidas) preconizou os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, dos quais pelo menos 3 deles estão associados com a busca de novas alternativas, seguras, eficientes e sustentáveis de se produzir alimentos (BAHADUR KC et al., 2018).

Neste contexto, há uma série de substitutos a proteína animal ganhando o mercado nos últimos anos, como produtos a base de soja (tofu e proteína texturizada de soja), de glúten de trigo (“Seitan”) ou de micoproteínas (“Quorn”). Estes alimentos se baseiam em dietas inteiramente constituídas por plantas, as quais nem sempre satisfazem ao paladar ou atendem às expectativas dos consumidores em busca da redução do consumo de carne (HOCQUETTE, 2016). As carnes cultivadas em laboratório (também chamadas de “carne limpa”) surgem como uma alternativa para quem não deseja eliminar totalmente o consumo de carne da sua alimentação mas procura por hábitos de consumo mais conscientes e sustentáveis (TUCKER, 2014).

Esta revisão sistemática de literatura tem como objetivo sintetizar as informações de pesquisa mais relevantes envolvendo a produção de “carne limpa” ao analisar os seus avanços e desafios nos últimos anos.

## 2 METODOLOGIA

A Methodi Ordinatio se trata de uma metodologia multicritério de avaliação de artigos, utilizada para selecionar os trabalhos mais relevantes sobre um determinado tema através da equação InOrdinatio, relacionando fatores como número de citações, fator de impacto e ano de publicação, e a partir disto pode-se criar um ranking com os artigos de maior impacto para construção de uma revisão sistemática de literatura (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015).

A pesquisa foi conduzida em três bases de dados distintas, Science Direct, Scopus e Web Of Science, as quais foram escolhidas por retornarem com um número adequado de artigos a partir de pesquisa prévia e por serem utilizadas amplamente para busca de artigos científicos na biotecnologia. Foram utilizadas as seguintes combinações de palavras-chaves e operadores booleanos: (“in vitro meat” OR “cultivated meat” OR “cultured meat”) AND (“sustainability” OR “food security”), sem delimitação de tempo e buscando apenas por artigos científicos de periódicos. Ao final da pesquisa obteve-se 123 resultados na Science Direct, 293 na Scopus e 39 na Web of Science. Após uma etapa de filtragem realizada em um gerenciador gratuito de referências (Mendeley) foram excluídos as duplicatas e os trabalhos que não possuíam afinidade com o tema baseado no título, resumo e palavras-chave, restando 102 artigos.

A seguir, foi aplicada a equação InOrdinatio em uma planilha considerando o fator de impacto (Journal Citation Reports – JCR) de cada revista; o ano de publicação e o número de citações dos artigos, obtidos pelo Google Scholar em 25 de julho de 2020; e o fator “ $\alpha$ ”, definido como 5 para balancear a equação com relação ao ano de publicação dos artigos, já que se fazia necessário avaliar os avanços obtidos com o passar dos anos (PAGANI; KOVALESKI; RESENDE, 2015).

O software VOSviewer foi utilizado para construção de um mapa visual buscando analisar a recorrência das palavras-chave encontradas na pesquisa nas bases de dados e as relações entre estas para conhecer as principais tendências de pesquisa de carnes cultivadas (VAN ECK; WALTMAN, 2020).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De um total de 102 artigos selecionados pela metodologia, 53 deles foram desconsiderados da análise por possuírem número de citações inferior a 10. Dos 49 artigos restantes, os valores de índice InOrd variaram entre 38 e 289. Considerou-se para o presente trabalho, os artigos com valores de InOrd iguais ou maiores de 65 para obtenção do portfólio mais relevante acerca do tema resultando nos 20 artigos mostrados no Quadro 1.

Os cinco primeiros artigos com maior índice InOrd fornecem um panorama geral sobre os principais temas envolvendo as carnes *in vitro*, trazendo noções a respeito das técnicas de produção e processamento, os impactos gerados no meio ambiente, saúde humana e bem estar animal pela produção de carne convencional, mostram as perspectivas das cadeias produtivas de alimentos para os próximos anos, quais os principais alimentos substitutos à carne existentes no mercado e apontam possíveis direcionamentos para assegurar alimentos suficientes a população no futuro (GODFRAY *et al.*, 2018; MACHOVINA; FEELEY; RIPPLE, 2015; POST, 2012; VAN VUUREN *et al.*, 2018). Além disso, os autores Smetana *et al.* (2015) trazem dados comparativos de Análise de Ciclo de Vida dos principais substitutos a carne existentes no mercado e incluem as carnes cultivadas em laboratório em seu estudo, fornecendo informações relevantes no que diz respeito, principalmente, a quantidade de energia dispendida por este tipo de tecnologia.

Dentre os demais artigos, pelo menos 7 deles fornecem discussões técnicas importantes, como por exemplo, qual o melhor tipo de célula a ser cultivado e a melhor fonte, abordam as diferentes técnicas de produção e quais fatores influenciam na escolha do melhor meio de cultivo e *scaffolds*, investigam quais biorreatores seriam os mais adequados para o processamento e os

desafios a serem ultrapassados neste sentido. As questões sociais, éticas, políticas e regulamentárias, a aceitação do mercado perante um produto considerado artificial e quais seriam as melhores estratégias para garantir que a população altere seus hábitos de consumo ou reduza o consumo de carne convencional também são abordados por alguns autores.

**Quadro 1** – Ranking de artigos com maior impacto obtido através da metodologia Methodi Ordinatio

<b>Título</b>	<b>Referência</b>	<b>Abordagem do artigo</b>	<b>InOrdinatio (α = 5)</b>
Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects	(POST, 2012)	Alternativas à carne convencional e técnicas de produção de carne <i>in vitro</i>	289
Meat consumption, health, and the environment	(CHARLES J. GODFRAY <i>et al.</i> , 2018)	Impactos gerados no meio ambiente e na saúde humana, principais fatores que influenciam o consumo de carne e perspectivas de mudanças nas dietas	246
Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption	(MACHOVIN A; FEELEY; RIPPLE, 2015)	Impactos ambientais e na saúde humana gerados pelo aumento das atividades de pecuária e aponta possíveis soluções para o futuro	240
Alternative pathways to the 1.5 °c target reduce the need for negative emission technologies	(VAN VUUREN <i>et al.</i> , 2018)	Investigação de possíveis alternativas para redução da temperatura global, incluindo mudanças na dieta da população	203
Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes	(SMETANA <i>et al.</i> , 2015)	Análises de Ciclo de Vida dos principais substitutos das carnes convencionais e comparação entre elas	158
Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States	(MATTICK <i>et al.</i> , 2015)	Análise de Ciclo de Vida estimada das carnes cultivadas em laboratório nos Estados Unidos comparada às carnes convencionais	137
Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture	(STEPHENS <i>et al.</i> , 2018)	Definição de termos e exposição dos potenciais benefícios das carnes cultivadas, principais desafios técnicos e aspectos sociais, políticos e regulatórios para sua comercialização	133
The future of food — Scenarios and the effect	(ODEGARD; VAN DER VOET, 2014)	Análise de possíveis cenários referentes ao estilo de vida e hábitos de consumo da população e estimativa dos efeitos a longo prazo.	119

on natural resource use in agriculture in 2050		Sugere oportunidades para os sistemas de produção de alimentos	
Cultured beef: Medical technology to produce food	(POST, 2014)	Descrição da produção do primeiro hambúrguer por agricultura celular e perspectivas futuras	117
Is in vitro meat the solution for the future?	(HOCQUETT E, 2016)	Discussão sobre a aceitação das carnes cultivadas em laboratório pelo mercado, os limites técnicos, questões éticas e sociais e perspectivas futuras	113
Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes	(KUMAR <i>et al.</i> , 2017)	Análise dos principais ingredientes utilizados para produção de carnes alternativas baseadas em plantas	110
In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production	(BHAT; KUMAR; FAYAZ, 2015)	Histórico das carnes <i>in vitro</i> , fatores benéficos ao meio ambiente e a saúde e os principais desafios técnicos	109
What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry?	(BONNY <i>et al.</i> , 2015)	Diferenciação entre carnes cultivadas e modificadas e outros substitutos. Discussão sobre os aspectos de sustentabilidade, saúde e segurança, aceitação do mercado e bem-estar animal	96
Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects	(KADIM <i>et al.</i> , 2015)	Descrição das técnicas de produção e dos principais fatores envolvidos: tipos de células, cultura de tecidos, valor nutricional e bioprocessamento	90
The significance of sensory appeal for reduced meat consumption	(TUCKER, 2014)	Avaliação da percepção dos consumidores referente às diferentes proteínas alternativas disponíveis no mercado	88
When too much isn't enough: Does current food production meet global nutritional needs?	(BAHADUR KC <i>et al.</i> , 2018)	Evidencia a discrepância entre as necessidades nutricionais da população e a cadeia produtiva de alimentos e aponta possíveis soluções para o futuro	85
The food systems in the era of the coronavirus (CoVID-19) pandemic crisis	(GALANAKI S, 2020)	Análise atual sobre os sistemas de alimentação, aborda aspectos relacionados à segurança alimentar e a importância da sustentabilidade para as cadeias produtivas do futuro	74
Opportunities for applying biomedical production and manufacturing methods to the development of the clean meat industry	(SPECHT <i>et al.</i> , 2018)	Aborda as principais oportunidades de desenvolvimento da indústria da "carne limpa" e aponta possíveis direcionamentos para tornar o produto viável	71

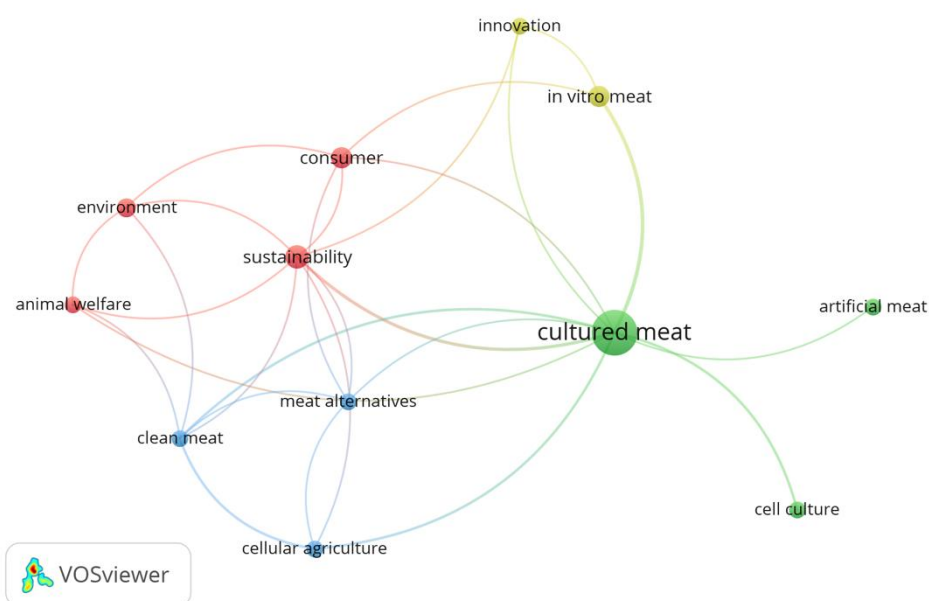
Meat alternatives: an integrative comparison	(VAN DER WEELE <i>et al.</i> , 2019)	Estudo comparativo entre as principais alternativas existentes à carne convencional	69
Structuring processes for meat analogues	(DEKKERS; BOOM; VAN DER GOOT, 2018)	Aborda diferentes tipos de processamento para a indústria das carnes alternativas	66

Fonte: Autoria própria (2020)

A análise de tendência foi realizada pela construção de um mapa de co-ocorrência com contagem completa (Figura 2) onde foi estabelecido um número mínimo de 3 ocorrências de cada palavra-chave, resultando em 18 palavras-chave recorrentes de um total de 265. Observa-se uma maior recorrência do termo “*cultured meat*”, o qual tem sido utilizado amplamente para caracterizar os estudos de carnes produzidas a partir de células, estando relacionado a outros três termos: “*in vitro meat*”, “*artificial meat*” e “*clean meat*”. Por se tratar de um campo de pesquisa relativamente novo, ainda não há um consenso com relação a nomenclatura, portanto é comum encontrarmos diferentes nomenclaturas para o mesmo tema.

O termo “*clean meat*” é relacionado ao termo “*cultured meat*” através de “*meat alternatives*”. Também se verifica a presença de termos como “*cell culture*” e “*cellular agriculture*”, algumas das principais tecnologias empregadas em pesquisas de carnes em laboratório, já empregadas em terapia celular, por exemplo. Em vermelho temos as palavras “*environment*”, “*animal welfare*”, “*consumer*” e “*sustainability*”, mostrando a importância do consumidor e alguns dos motivos pelos quais dietas alternativas ou substitutos a proteínas animais são procurados. Por último, é importante citar o termo “*innovation*”, evidenciando a originalidade e a busca por desenvolvimento deste campo para que as “carnes limpas” sejam trazidas às cadeias produtivas de alimentos.

**Figura 2 – Mapa de redes obtido através do software VOSviewer contendo as principais palavras-chaves relacionadas à produção *in vitro* de carne e suas recorrências**



Fonte: Autoria própria (2020)

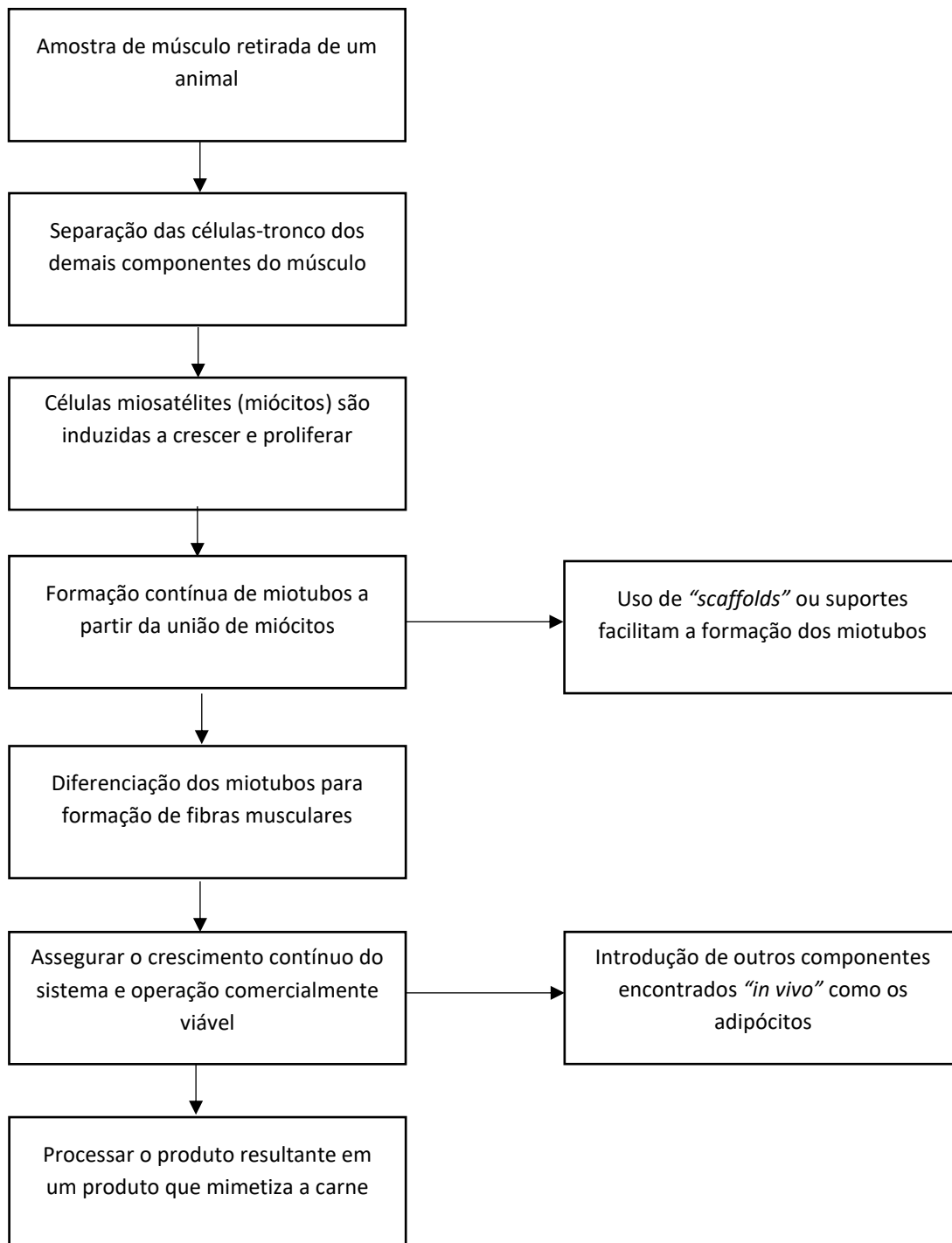
### 3.1 Produção de “carne limpa”

Em seu artigo de revisão, considerado o mais relevante sobre o tema, Post (2012) é pioneiro ao tratar das principais técnicas de produção e na descrição dos desafios e perspectivas futuras sobre as carnes *in vitro*. As tecnologias descritas por ele envolvem os processos de isolamento e identificação das células-tronco, o cultivo das células *in vitro* e o uso de técnicas da engenharia de tecidos, utilizadas até os dias atuais.

O tipo de célula mais promissor para a produção de carnes *in vitro* são as células miosatélites (ou miócitos), principais células-tronco musculares, responsáveis por regenerar o músculo após um trauma (POST, 2012). As células-tronco embrionárias animais e as células-tronco pluripotentes induzidas (iPS), as quais podem se diferenciar em praticamente qualquer tecido, também podem ser utilizadas sendo ainda necessário otimizar a sua capacidade de proliferação e desenvolver métodos que guiem satisfatoriamente estas células a

produzirem as células miosatélites para que sejam aplicadas (KADIM et al., 2015).

**Figura 3 – Esquema da sequência de etapas genéricas para a produção de carne *in vitro***



Fonte: Adaptado de (KADIM et al., 2015)

Independente da origem das células, a engenharia de tecidos busca mimetizar as condições de formação do tecido muscular animal através de células especializadas (neste caso, os miócitos) as quais, em condições naturais, se diferenciam e proliferam formando os miotubos que darão origem às fibras musculares (Figura 3) (STEPHENS et al., 2018). Porém, para satisfazer a réplica das carnes convencionais em sua totalidade, é necessário que a carne *in vitro* seja composta por diferentes tipos de células, não só células musculares, já que a carne é formada por uma série de componentes como ossos, tecidos conjuntivos, gordura, proteínas, vasos sanguíneos e nervos, além dos nutrientes, como vitaminas e minerais (HOCQUETTE, 2016).

Ao cultivar adipócitos (células de gordura) junto aos miócitos, por exemplo, é possível melhorar as características de textura e sabor de uma carne cultivada aumentando a sua porcentagem de gordura. É possível também cultivar as células-tronco dos fibroblastos que irão organizar as fibras colágenas entre as fibras musculares, conferindo propriedades de tensão no tecido muscular formado (KADIM et al., 2015).

Além disso, é fundamental que seja fornecido um “*scaffold*”, ou seja, uma estrutura que suporte as células permitindo que a diferenciação do tecido muscular ocorra em seus poros. Desta forma, o produto final adquire uma heterogeneidade espacial tridimensional parecida com a estrutura natural da carne. Atualmente, na engenharia de tecidos, é possível obter somente uma camada fina de tecido quando se cultivam células em laboratório (SPECHT *et al.*, 2018).

### **3.2 Aspectos e desafios técnicos**

Embora uma grande quantidade de estudos tenha sido conduzida nos últimos dez anos e sejam observados avanços com relação ao tema nos anos recentes, ainda há uma série de entraves em relação aos aspectos técnicos da produção. Os principais fatores ainda em discussão são as fontes de células, o uso de materiais sintéticos ou derivados de animais para o meio de cultura e

para o “*scaffold*” e qual a melhor técnica de produção e de aplicação destes, e o bioprocessamento.

### 3.2.1 Fonte das células

Ainda não se chegou a um consenso sobre qual é o tipo de célula mais adequado para ser utilizado na produção de carne *in vitro*, tendo em vista os obstáculos encontrados nas técnicas conhecidas (KADIM *et al.*, 2015). Ao isolar uma célula primária a partir do músculo de um organismo vivo, embora seja a forma mais simplificada de se obter células musculares, não se pode atestar a homogeneidade e estimar a quantidade de células coletadas, o que pode induzir uma alta variabilidade ao tecido originado a partir destas. Além disso, há um alto risco de contaminação durante as etapas de isolamento e a necessidade da coleta de células primárias a partir de tecido vivo aumentaria a variabilidade do processo (STEPHENS *et al.*, 2018).

Autores como Specht *et al.* (2018) apontam que para que seja vantajoso do ponto de vista industrial, o cultivo de tecidos deve ser feito através do cultivo de linhagens de células de maneira contínua. As técnicas de produção podem ser via indução (química ou através de engenharia genética) ou por seleção de mutações espontâneas das células que expressem imortalidade. O processo deve se assemelhar ao existente em cervejarias, por exemplo, no qual as culturas podem ser empregadas continuamente por várias gerações e depois serem reiniciadas com estoques congelados. Mas ainda há de se ter cautela principalmente porque nem sempre essas células expressarão as características esperadas de acordo com a célula primária (STEPHENS *et al.*, 2018).

### 3.2.2 Meio de cultura

Para que um meio de cultura seja eficiente, é necessário que ele seja acessível e possua uma série de componentes em sua formulação, como nutrientes (carboidratos, aminoácidos, vitaminas, etc), hormônios (insulina, hormônios de crescimento, etc) e fatores de crescimento, para garantir o

crescimento, a proliferação e a diferenciação das células musculares (KADIM *et al.*, 2015). Nos últimos anos, diferentes derivados de animais como soro fetal de bezerro, soro de cavalo ou extrato de embrião de frango são comumente empregados em algumas etapas do cultivo de células-tronco (BONNY *et al.*, 2015).

Neste sentido, meios sintéticos têm sido produzidos a partir de plantas, fungos ou microalgas, pois as carnes *in vitro* só poderão ser consumidas caso o meio de cultivo for comprovadamente seguro e constituído por componentes estéreis e conhecidos. Ainda não se pode assegurar que estes meios possuam a mesma eficiência que meios constituídos por soros animais, portanto, progressos terão que ser obtidos neste aspecto (HOCQUETTE, 2016).

O alto custo de obtenção dos componentes e a elevada quantidade requerida para produção industrial de “carne limpa” permanecem sendo grandes questões a serem ultrapassadas. Os autores Specht *et al.* (2018) sugerem modificações genéticas como forma de aumentar a estabilidade de fatores de crescimento já existentes ou ainda a criação de bibliotecas de pequenas moléculas que mimetizam a atividade destes, descartando a necessidade de produzi-los a partir de tecnologia recombinante, o que encareceria o processo.

### 3.2.3 “Scaffolds” livres de componentes animais

A estrutura tridimensional das carnes *in vitro*, semelhante à carne convencional, pode ser fornecida através do uso de um *scaffold* (ou suporte). Estes suportes permitem o crescimento e a organização de múltiplas células e a perfusão do meio de cultura através deles para produção de um tecido mais especializado (SPECHT *et al.*, 2018). Os *scaffolds* atuam fornecendo pontos de ancoragem para que as células se alinhem e criem tensão entre elas através da síntese de proteínas contráteis, gerando mais tensão no tecido obtido (HOCQUETTE, 2016).

Para ser aplicado na produção de carnes *in vitro*, no entanto, é desejável que o material do *scaffold* seja comestível, dissolvido ou degradado antes do consumo, ou ser facilmente removido após o processo de produção (MATTICK

et al., 2015). No geral, as células miogênicas se desenvolvem melhor em suportes feitos de colágeno, justamente porque esses materiais se assemelham mais com o ambiente fisiológico das células. Porém, até então, o produto obtido utilizando o colágeno como suporte possui apenas uma fina camada de miócitos, com espessura em torno de 100-200  $\mu\text{m}$  (KADIM et al., 2015).

Os hidrogéis sintéticos são uma das alternativas mais promissoras ao uso de fontes derivadas de animais, uma vez que tem baixo custo e podem ser ajustados de forma a atender as especificidades da produção de “carne limpa” (SPECHT et al., 2018). Além destes, pesquisadores já provaram a possibilidade de se cultivar células musculares em suspensão formada por microesferas a base de amido, atendendo a importantes requisitos: ser um ingrediente de baixo custo e amplamente encontrado na natureza, além de ser facilmente digerido (MATTICK et al., 2015). Outra tecnologia promissora, é a criação de redes canalizadas através de impressão 3D que produz estruturas semelhantes aos vasos sanguíneos existentes no tecido muscular natural, com a possibilidade de passar por perfusão capazes de sustentar culturas por até seis semanas (STEPHENS et al., 2018).

### 3.2.4 Bioprocessamento

Para a produção da carne *in vitro* em larga escala as fibras musculares obtidas a partir de uma única célula-tronco devem ser cultivadas em um biorreator, o qual deve possuir elevado volume e condições operacionais complexas para proporcionar estímulos adequados resultando no correto desenvolvimento das fibras, além de prevenir os riscos de contaminação (DEKKERS; BOOM; VAN DER GOOT, 2018).

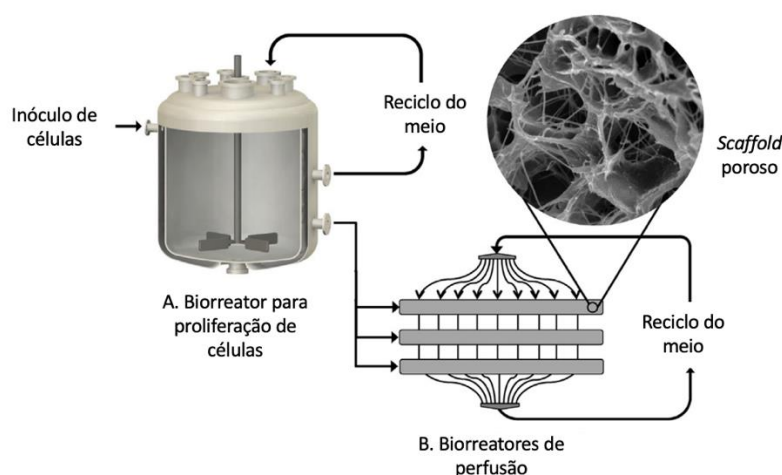
Embora biorreatores na ordem de 2000 litros sejam comumente utilizados na indústria, estima-se que para produção de 1 kg de “carne limpa” seja requerido um volume de aproximadamente 5000 litros (STEPHENS et al., 2018). Alguns autores afirmam que, apesar de necessitar de um grande volume, a produção da carne *in vitro* não requereria um espaço tão amplo quando comparado, por exemplo, à quantidade de terra demandada pelas atividades

agropecuárias, além das instalações poderem ser construídas verticalmente (BHAT; KUMAR; FAYAZ, 2015). Em contrapartida, estima-se que com relação ao consumo de energia, o processamento das carnes *in vitro* requer quantidades maiores de energia se comparada a produção de carnes convencionais, o que representa um desafio para o desenvolvimento das instalações (MATTICK *et al.*, 2015).

Com relação a complexidade, os biorreatores para produção de carne *in vitro* devem possuir sistemas de perfusão sofisticados que facilitem o fluxo de nutrientes através dos poros dos *scaffolds*, demandar pouca manutenção, oferecer um alto rendimento, serem altamente automatizados e com controle em tempo real das variáveis do processo, possuir sistema de filtração e reciclo e operar em sistema fechado (SPECHT *et al.*, 2018),

A Figura 4 mostra uma possível configuração para um sistema de produção da “carne limpa”. No primeiro estágio, as células são inoculadas no reator A onde ocorre a proliferação celular (aumento de densidade e de massa das células). Já no segundo estágio (reator B), as células são colocadas sob um *scaffold* permitindo a diferenciação celular nos tipos finais de células (SPECHT *et al.*, 2018).

**Figura 4 – Fluxograma esquemático de um projeto de reatores proposto para a produção de “carne limpa”**



Fonte: (SPECHT *et al.*, 2018)

### 3.3 A “carne limpa” é realmente a saída?

A produção de produtos cárneos tende a aumentar impulsionada pela tendência crescente de consumo esperada para os próximos anos, com isto, os recursos disponíveis para atender a essa demanda podem sofrer impactos. Como consequência, as regulamentações ambientais se tornarão mais rígidas fazendo com que o preço da carne aumente (BONNY et al., 2015). Ainda que o custo seja um fator marcante na busca por novas alternativas de consumo, pesquisas apontam que, no caso da carne, ao enfatizar os benefícios de uma dieta mais equilibrada através da disseminação de informações, os consumidores podem se tornar mais conscientes (TUCKER, 2014).

Contudo, ao se comparar os impactos ambientais gerados pela produção de carnes convencionais, carnes *in vitro* e suas alternativas através de Análises de Ciclo de Vida, os autores Smetana et al. (2015) concluíram que as carnes cultivadas em laboratório geram maiores impactos relacionados ao uso de recursos naturais, como água e solo. Também há preocupação com relação às grandes quantidades de energia requeridas para a produção da carne limpa, principalmente por conta das etapas de bioprocessamento e limpeza dos biorreatores, conforme mencionado anteriormente.

No artigo de Mattick et al. (2015) os autores expõe a necessidade de uma maior quantidade de energia para produção de carnes *in vitro* em comparação a produção de carne de vaca, carne de porco e frango, por exemplo. Já com relação às emissões de gases do efeito estufa, a produção de carnes *in vitro* só fica abaixo das emissões geradas pela produção de carne de vaca, mas com relação ao uso de terras, o uso e o potencial de eutrofização para produção de carnes *in vitro* é o menor dentre as alternativas citadas.

Proteínas a base de plantas ou de insetos são apontadas como melhores alternativas, já que, além dos fatores citados acima, podem ser produzidas mais facilmente pelas indústrias e possuem barreiras mais brandas para comercialização (BONNY et al., 2015). É importante se considerar também a

aceitação do público, pois há a percepção das carnes *in vitro* como algo “antinatural” por parte dos consumidores, fazendo com que outras alternativas venham a frente na escolha do melhor substituto às carnes convencionais (BHAT; KUMAR; FAYAZ, 2015).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Ao propor um ranking dos artigos de maior impacto para o desenvolvimento da presente revisão a metodologia Methodi Ordinatio se mostra uma ferramenta muito significativa pois tornou possível a construção de um artigo de revisão com uma visão abrangente acerca das carnes cultivadas em laboratório e seus desdobramentos. É possível constatar que os pesquisadores possuem visões por vezes contraditórias no que diz respeito a viabilidade do cultivo de células musculares para a produção de carne *in vitro* e não se tem um consenso sobre qual é o caminho mais adequado a se percorrer daqui para frente.

Nossa sociedade enfrenta atualmente inúmeros desafios no que diz respeito a necessidade de buscar por métodos mais sustentáveis de produção e de consumo enquanto devemos continuar alimentando a crescente população de maneira saudável e segura. Isto permite o surgimento de campos variados de estudo buscando alcançar objetivos similares. Neste contexto, as carnes *in vitro* em conjunto com as demais alternativas à carne convencional devem ser vistas como aliadas na construção de uma nova percepção de qualidade de vida.

As carnes *in vitro* se mostram de fato uma verdadeira revolução de pensamento e uma grande promessa para o futuro. Por se tratar de um campo de estudo relativamente novo e possuir numerosos entraves para seu completo desenvolvimento, tanto nas áreas técnicas quanto sociais e éticas, possibilita que muitas pesquisas sejam desenvolvidas a partir do que já é conhecido e praticado nestas diferentes áreas.

Do ponto de vista técnico o presente estudo aponta para a necessidade de ampliar as pesquisas com a finalidade de otimização dos processos existentes e desenvolvimento de novos processos mais baratos, eficientes, com

menor volume de trabalho, menor tempo de produção e, principalmente, com uso de água e energia reduzidos ou reaproveitados além de redução na quantidade de resíduos oriundos do processo. O que sugere uma aproximação benéfica entre a academia e as indústrias com o intuito de acelerar o desenvolvimento destas tecnologias.

O objetivo, portanto, não se trata de tornar as carnes cultivadas a única saída para resolução dos grandes problemas enfrentados pela sociedade atual, mas sim, torna-la um produto de fácil acesso à população, atendendo ao paladar ou à necessidade da substituição de produtos de origem animal por questões pessoais ou religiosas e, mais amplamente, contemplar com o produto obtido as questões relacionadas ao uso de recursos finitos, impacto ambiental e a produção de alimentos de qualidade em escala ampliada.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J.; FAO. World Agriculture Towards 2030/2015: The 2012 Revision. **ESA Working Paper**, [S. l.], n. 12, p. No. 12-03, 2012. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(03\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(03)00047-4)

BAHADUR KC, K. *et al.* When too much isn't enough: Does current food production meet global nutritional needs? **PLoS ONE**, [S. l.], v. 13, n. 10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205683>

BHAT, Z. F.; KUMAR, S.; FAYAZ, H. In vitro meat production: Challenges and benefits over conventional meat production. **Journal of Integrative Agriculture**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 241–248, 2015. Disponível em: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60887-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60887-X)

BONNY, S. P. F. *et al.* What is artificial meat and what does it mean for the future of the meat industry? **Journal of Integrative Agriculture**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 255–263, 2015. Disponível em: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60888-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60888-1)

CHARLES J. GODFRAY, H. *et al.* Meat consumption, health, and the environment. **Science**, [S. l.], v. 361, n. 6399, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>

DEKKERS, B. L.; BOOM, R. M.; VAN DER GOOT, A. J. Structuring processes

for meat analogues. **Trends in Food Science and Technology**, [S. l.], v. 81, n. August, p. 25–36, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>

GALANAKIS, C. M. The food systems in the era of the coronavirus (CoVID-19) pandemic crisis. **Foods**, [S. l.], v. 9, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods9040523>

GODFRAY, H. C. J. *et al.* Meat consumption, health, and the environment. **Science (New York, N.Y.)**, [S. l.], v. 361, n. 6399, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>

HOCQUETTE, J. Is in vitro meat the solution for the future? **Meat Science**, [S. l.], v. 120, p. 167–176, 2016. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.036>

KADIM, I. T. *et al.* Cultured meat from muscle stem cells: A review of challenges and prospects. **Journal of Integrative Agriculture**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 222–233, 2015. Disponível em: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60881-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60881-9)

KUMAR, P. *et al.* Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, [S. l.], v. 57, n. 5, p. 923–932, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939739>

MACHOVINA, B.; FEELEY, K. J.; RIPPLE, W. J. Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 536, p. 419–431, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.022>

MATTICK, C. S. *et al.* Anticipatory Life Cycle Analysis of In Vitro Biomass Cultivation for Cultured Meat Production in the United States. **Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 49, n. 19, p. 11941–11949, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01614>

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Política Agrícola. PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO Brasil 2019 / 20 a 2029 / 30 Projeções de Longo Prazo. **Mapa**, [S. l.], 2020.

ODEGARD, I. Y. R.; VAN DER VOET, E. The future of food - Scenarios and the effect on natural resource use in agriculture in 2050. **Ecological Economics**, [S.

*I.*], v. 97, p. 51–59, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.10.005>

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, [*S. I.*], v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>

POST, M. J. Cultured beef: Medical technology to produce food. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [*S. I.*], v. 94, n. 6, p. 1039–1041, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6474>

POST, M. J. Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. **Meat Science**, [*S. I.*], v. 92, n. 3, p. 297–301, 2012. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>

SMETANA, S. *et al.* Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [*S. I.*], v. 20, n. 9, p. 1254–1267, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>

SPECHT, E. A. *et al.* Opportunities for applying biomedical production and manufacturing methods to the development of the clean meat industry. **Biochemical Engineering Journal**, [*S. I.*], v. 132, p. 161–168, 2018. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.01.015>

STEPHENS, N. *et al.* Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges in cellular agriculture. **Trends in Food Science and Technology**, [*S. I.*], v. 78, n. June 2017, p. 155–166, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010>

TUCKER, C. A. The significance of sensory appeal for reduced meat consumption. **Appetite**, [*S. I.*], v. 81, p. 168–179, 2014. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.06.022>

VAN DER WEELE, C. *et al.* **Meat alternatives: an integrative comparison**. [*S. I.*]: Elsevier Ltd, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.018>

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L.. VOSviewer Manual. **Leiden: Univeriteit Leiden**, [*S. I.*], n. April, p. 53, 2020. Disponível em: [http://www.vosviewer.com/documentation/Manual\\_VOSviewer\\_1.6.1.pdf](http://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.6.1.pdf)

VAN VUUREN, D. P. *et al.* Alternative pathways to the 1.5 °c target reduce the need for negative emission technologies. **Nature Climate Change**, [S. l.], v. 8, n. 5, p. 391–397, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0119-8>

---

**Enviado em:** 25 nov. 2020

**Aceito em:** 18 jan. 2021

**Editores responsáveis:** Bianca Neves Machado / Mateus das Neves Gomes